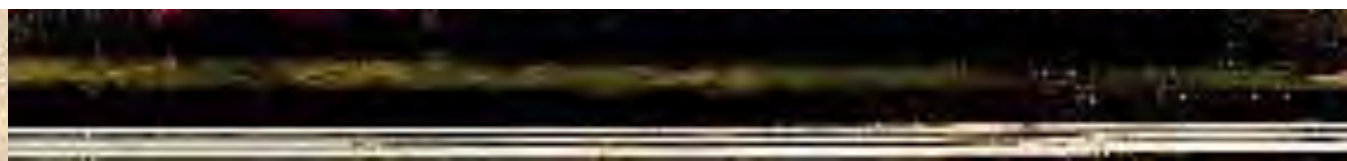


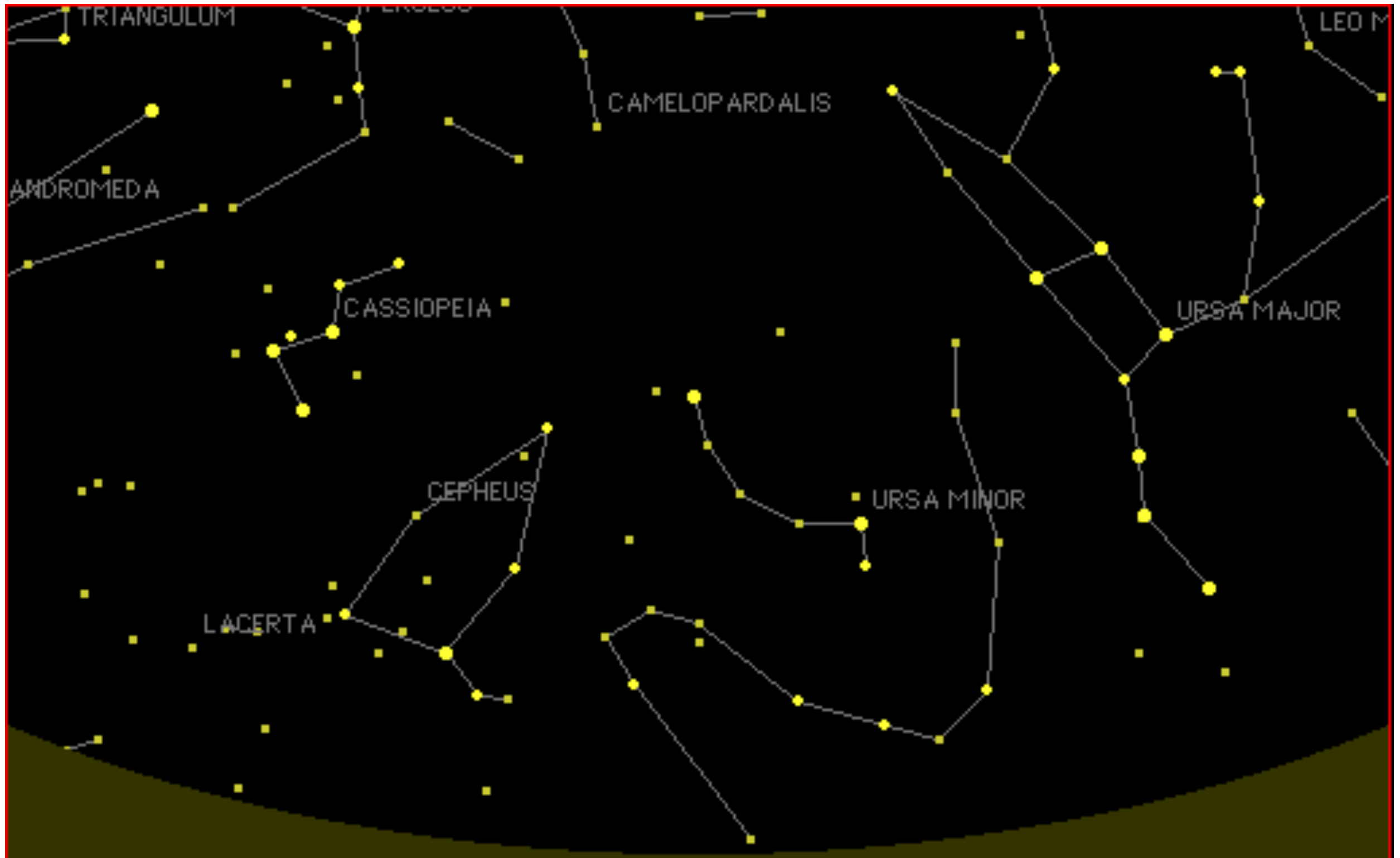


코페르니쿠스 혁명

가치와 이론 선택, 그리고 공동체

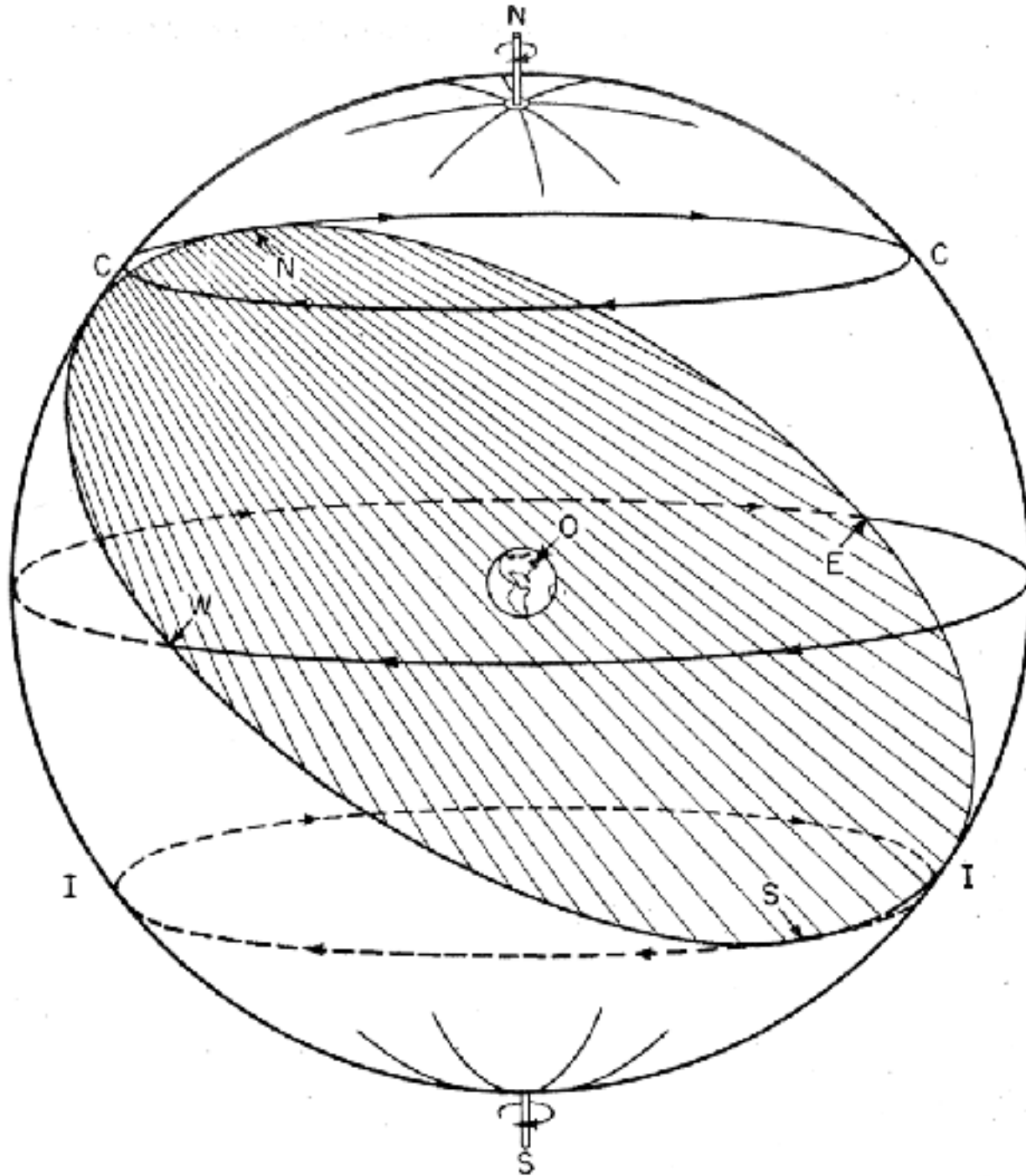


별자리의 존재와 별의 일주 운동



지구와 항성 천구

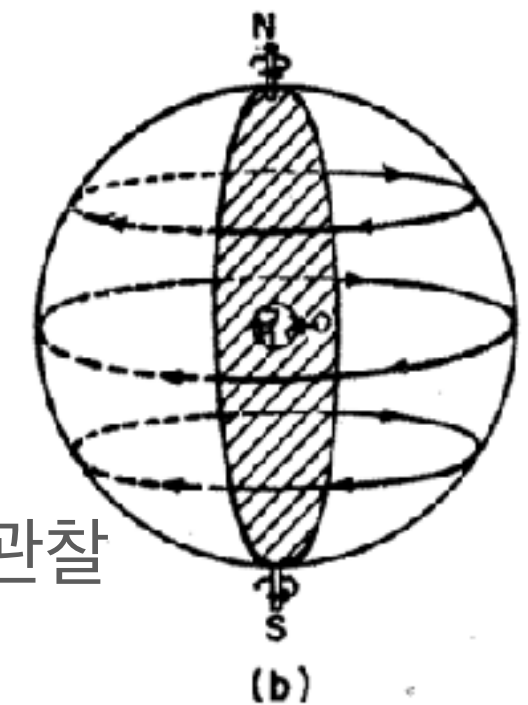
중심의 지구와 일주운동을 하는 항성 천구



북반구 중위도 지역에서의 관찰



북극에서의 관찰



적도에서의 관찰

우주의 골칫거리 행성(떠돌이별)



달, 태양, 수성, 금성, 화성, 목성, 토성



프톨레마이오스(AD 83?-168?)

.....

- ▶ 헬레니즘 시대(기독교 정착 전)의 알렉산드리아에서 활동한 수학자 /천문학자/지리학자/점성술사
- ▶ 수리 행성 천문학 : 행성의 복잡한 운동을 원운동의 합성으로 정량적으로 설명 및 예측
- ▶ 〈알마게스트〉, 〈지리학〉, 〈테트라비블로스〉 저술

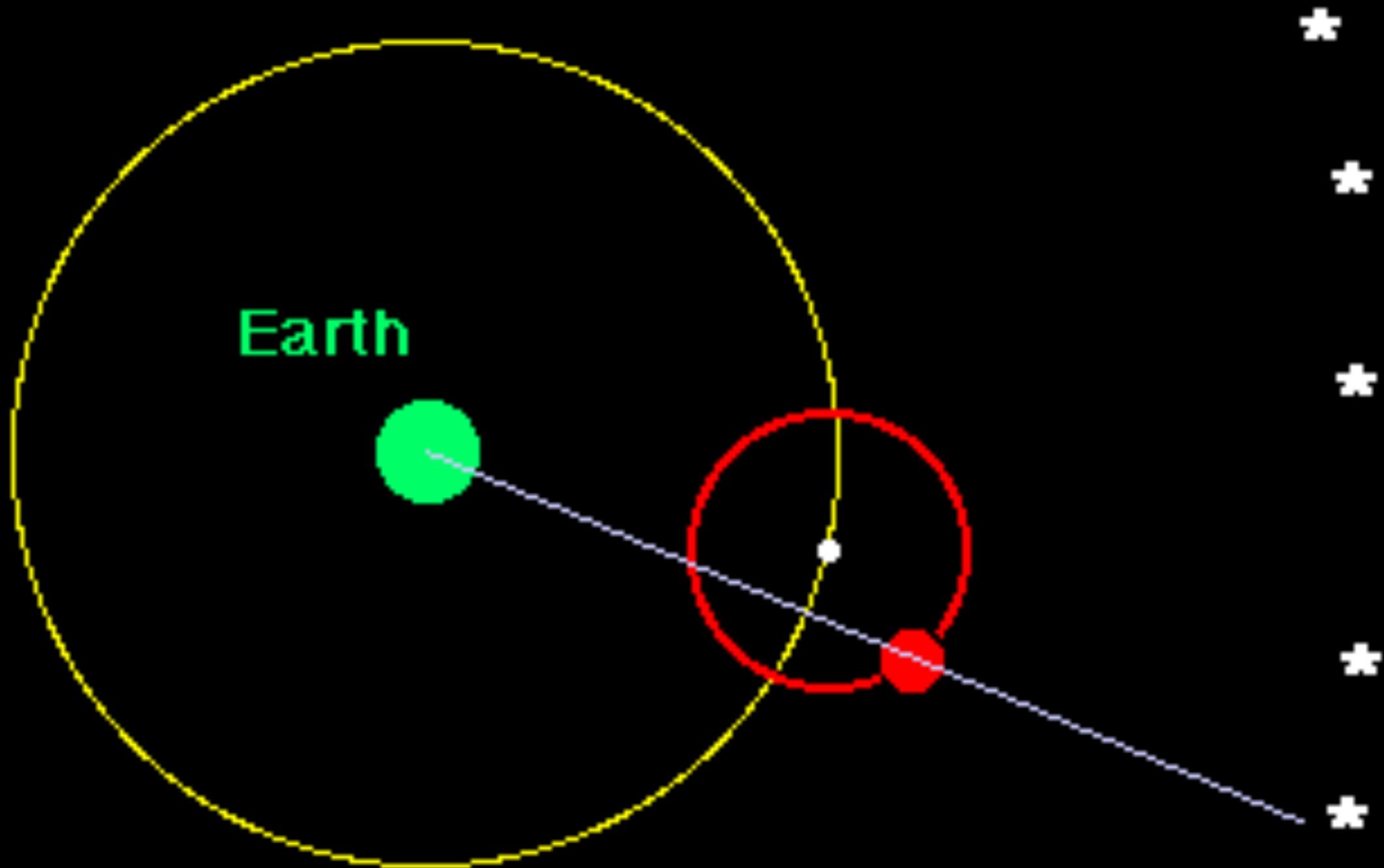


7행성이 추가된 구형 우주

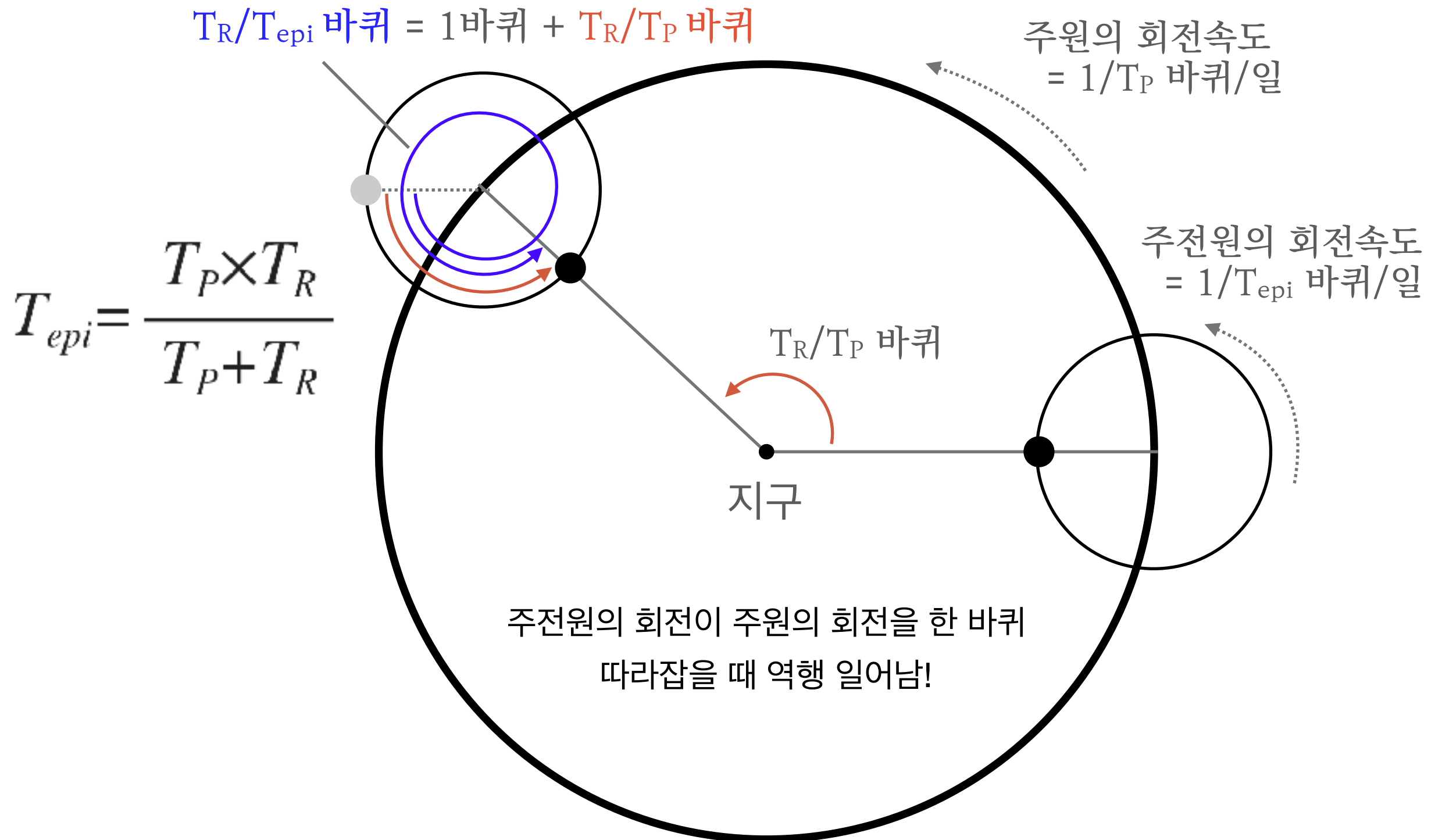
	황도 주기(T_P)	역행 주기(T_R)
달	27.3일	-
수성	1년	116일
금성	1년	584일
태양	1년	-
화성	687일	780일
목성	12년	399일
토성	30년	378일

황도 한 바퀴를 도는 데 걸리는 시간이
짧을수록 작은 궤도로 설정

주원-주전원 : 역행운동과 밝기 변화의 설명



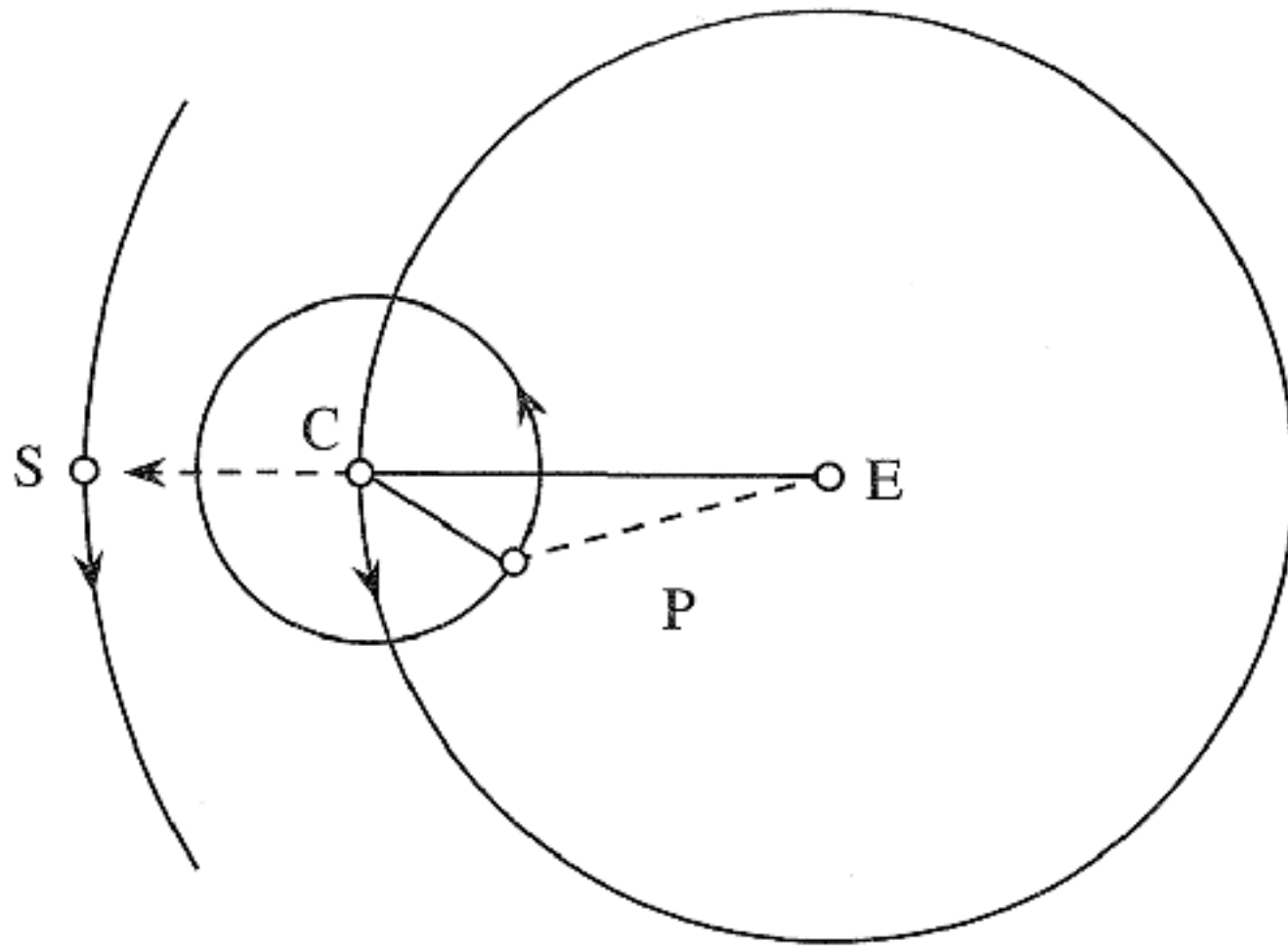
관측 자료를 이용한 주전원의 주기(T_{epi}) 계산



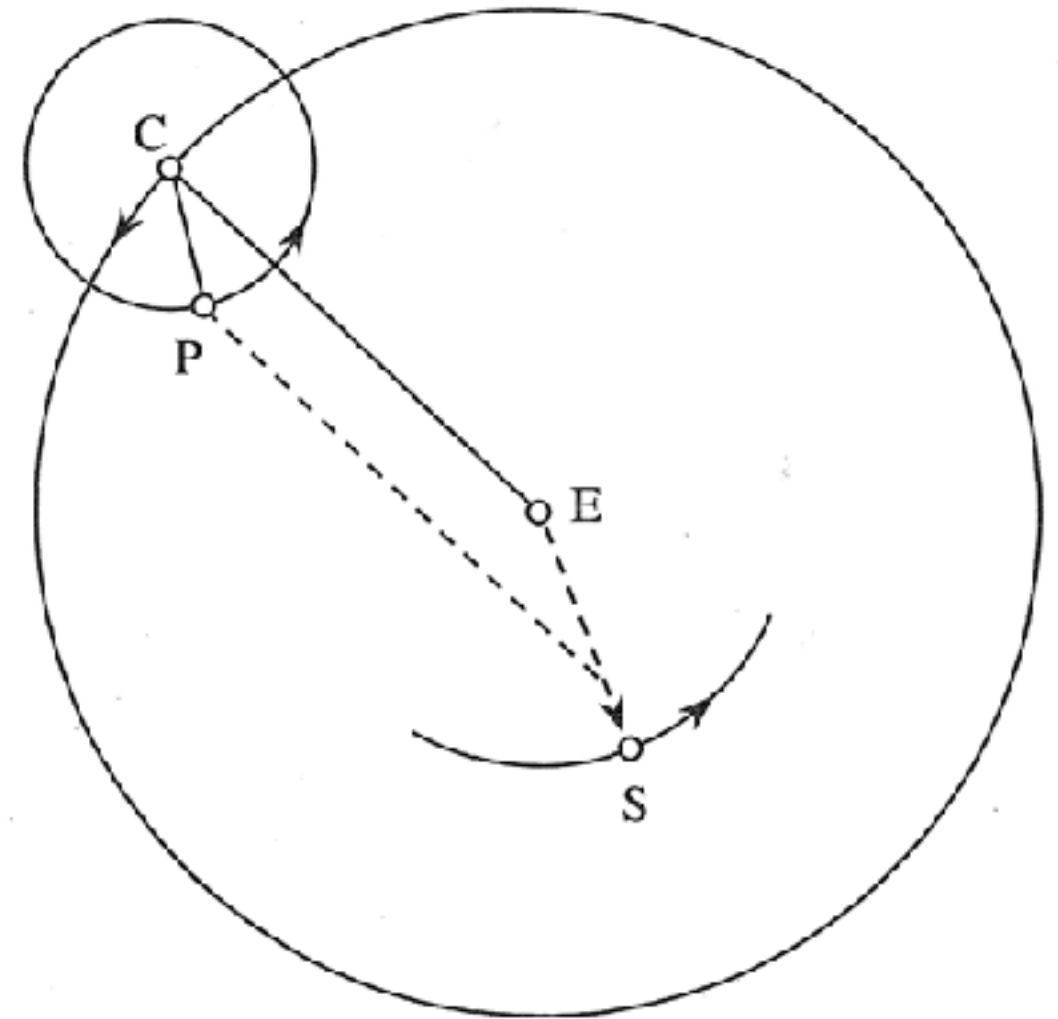
주전원의 주기 계산 결과

	황도 주기(T_P)	역행 주기(T_R)	주전원의 주기(T_{epi})
수성	1년	116일	88일
금성	1년	584일	225일
태양	1년	-	-
화성	687일	780일	1년
목성	12년	399일	1년
토성	30년	378일	1년

행성과 태양의 미묘한 관계

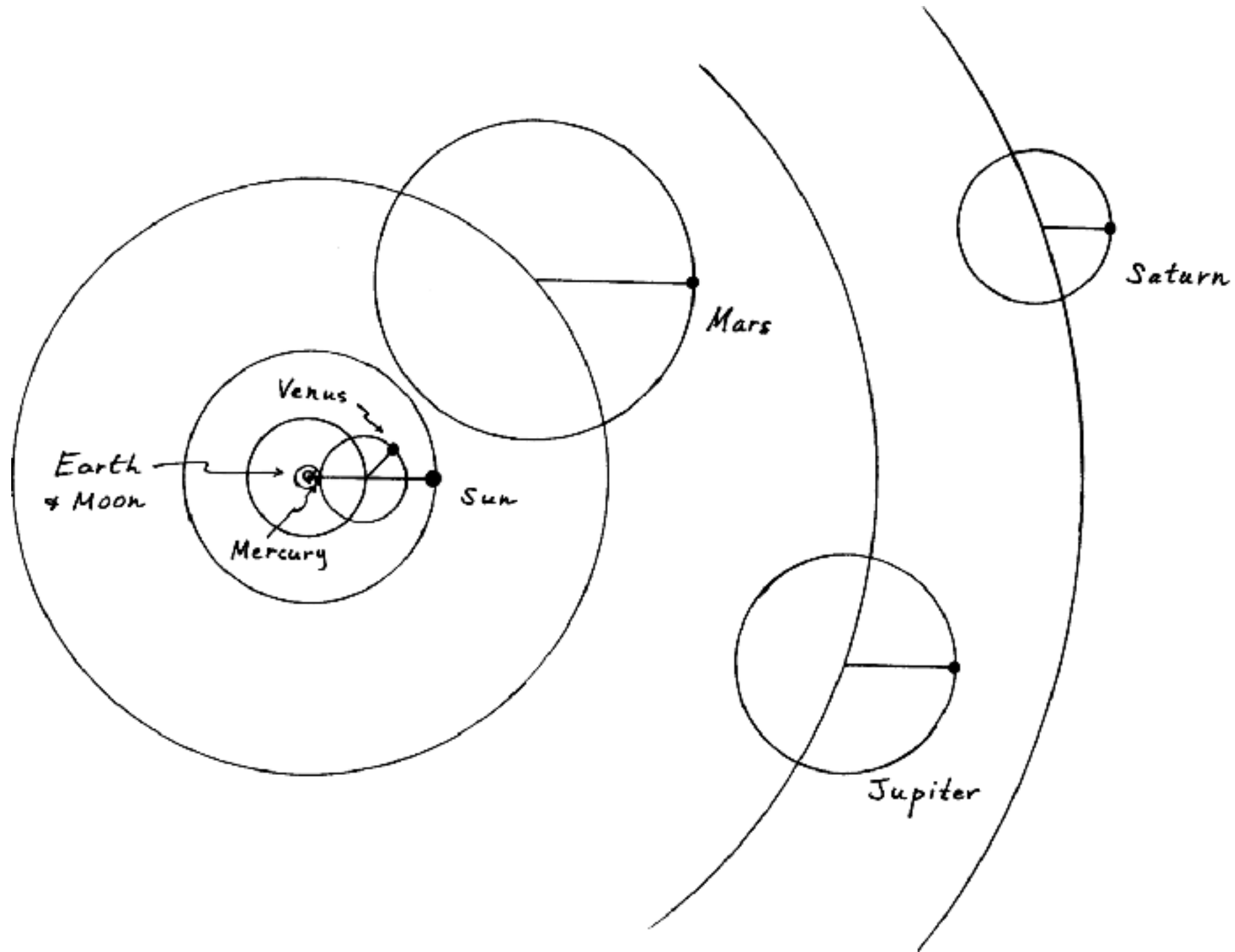


내행성 : 주원과 태양의 동기화
(태양과의 최대이각 설명)



외행성 : 주전원과 태양의 동기화
(역행 운동과 태양과의 관계 설명)

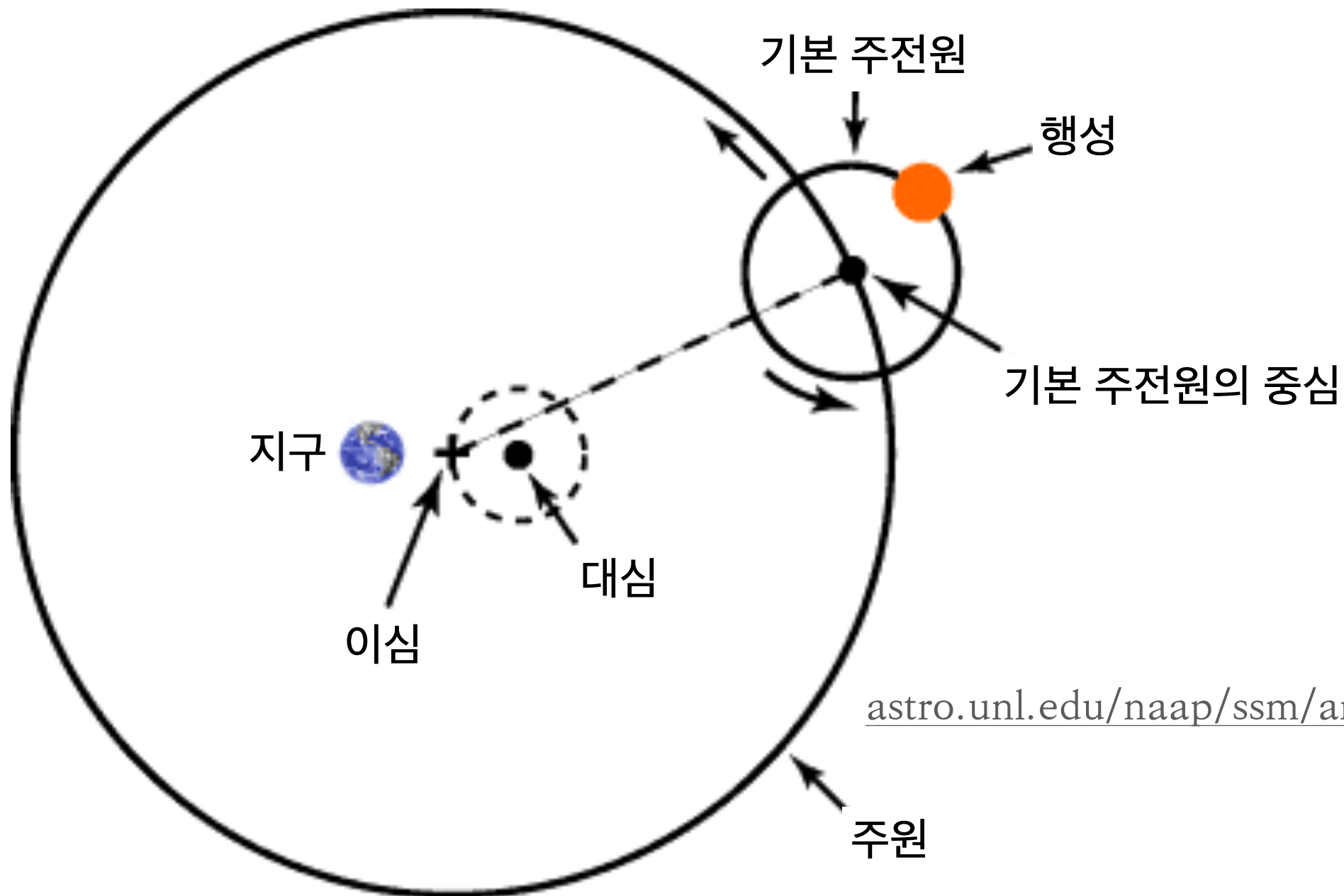
프톨레마이오스 체계



완전한 프톨레마이오스 체계 : 행성에 대한 더 정교한 예측을 위해

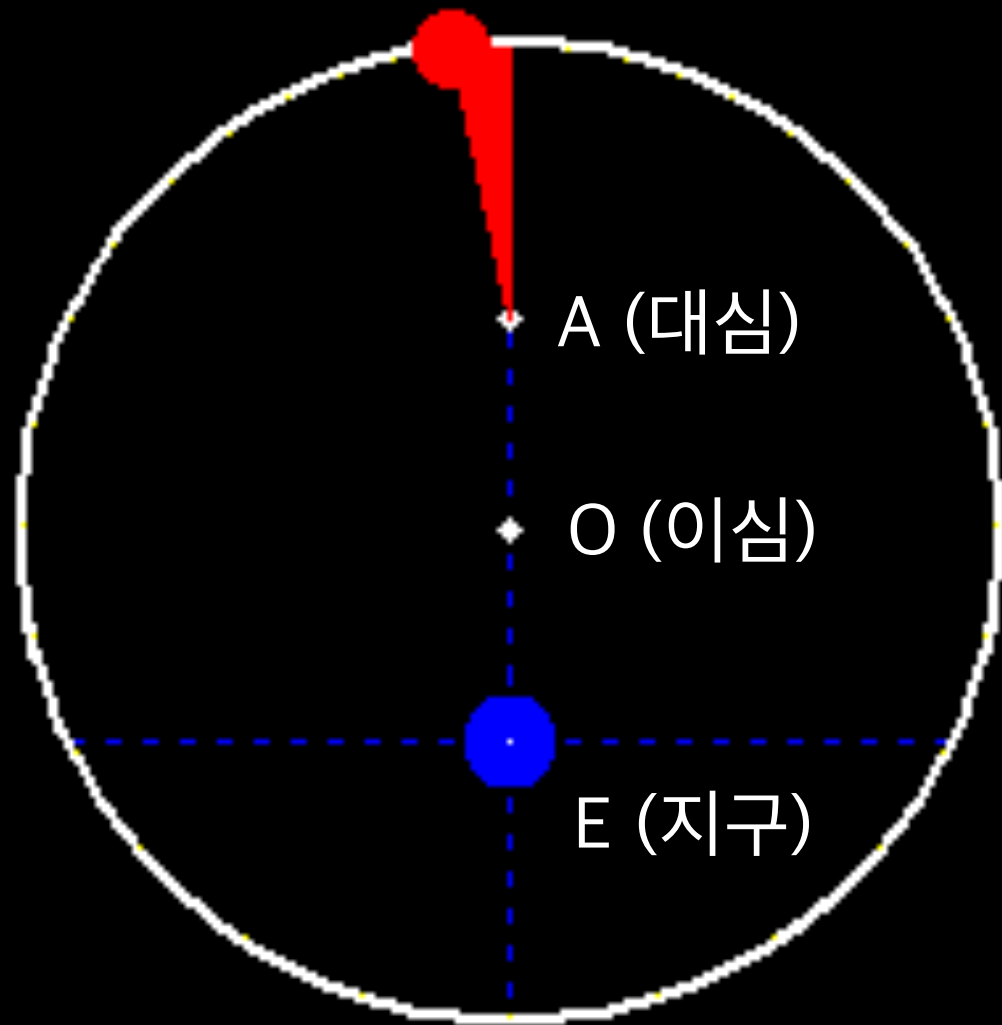
.....

주원-주전원 (질적 설명) + 이심원 & 대심[equant] (미세 조정)



astro.unl.edu/naap/ssm/animations/ptolemaic.swf

대심 : 행성은 이심원 위에서 부등속 운동!

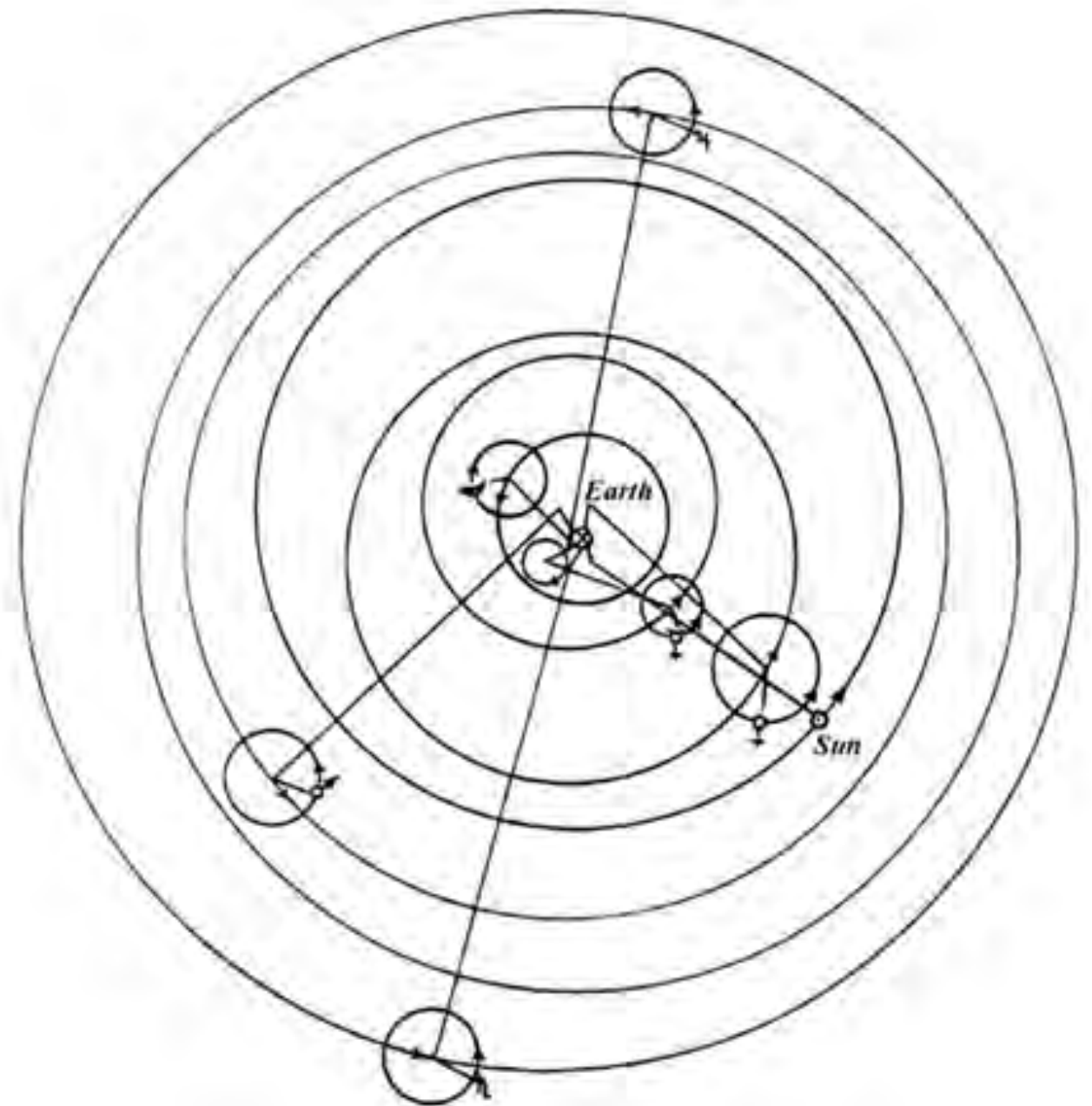


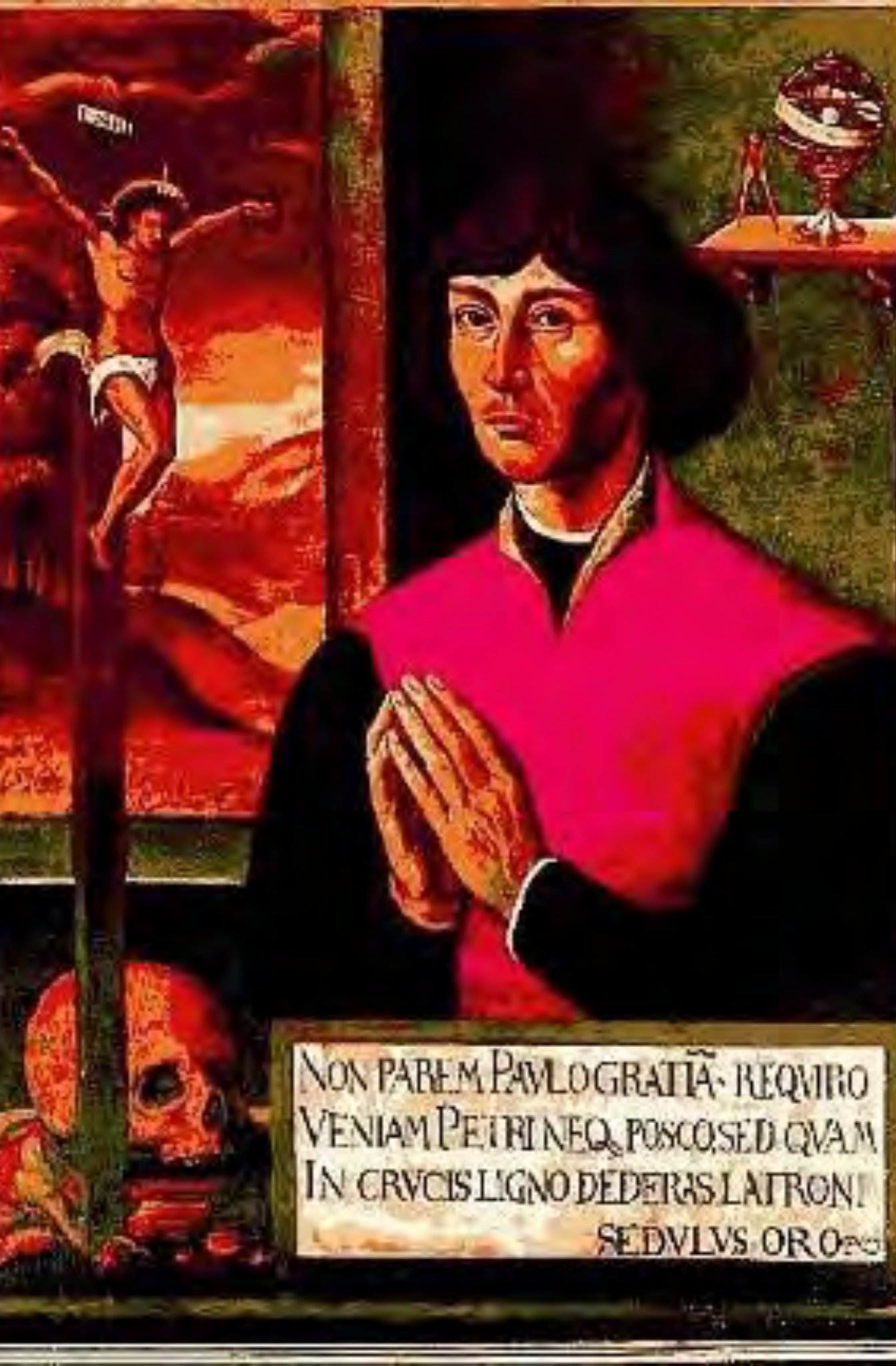
행성은 이심 O를 중심으로 한 위에서 움직이지만, 이심 O 대신 대심 A를 중심으로 한 각속도가 일정하게 유지

행성은 원주 위에서 부등속 운동!

프톨레마이오스의 《알마게스트》

- ▶ 모든 천체에 대한 완전하고, 상세하고, 정량적인 설명
- ▶ 아리스토텔레스 물리학/우주론과의 부분적 부조화
 - ▶ 엄밀히 말해 행성들은 지구를 중심으로 한 등속 원운동을 하지 않음
 - ▶ 주전원, 대심의 메커니즘은?
- ▶ 5행성과 태양의 미묘한 관계를 분명하게 드러내면서도 그에 대한 설명은 부재
- ▶ 프톨레마이오스를 비롯한 헬레니즘 천문학자들은 천체 운동의 물리적 메커니즘을 설명하는 데 무관심!
- ▶ 천문학의 목적 : 현상을 구제하기!





코페르니쿠스(1473-1543)

.....

- ▶ 폴란드 출신의 교회 행정가
- ▶ 폴란드의 크라쿠프 대학을 다닌 후 이탈리아의 볼로냐 대학에서 교회법 공부한 후 프라우엔부르크 성당 참사 회원으로 활동
- ▶ 신플라톤주의의 영향
 - ▶ 우주의 신비를 풀 열쇠는 수학에!
 - ▶ 단순하고 조화로운 체계 추구
 - ▶ 태양 숭배 사상
- ▶ 1510년 경부터 지구가 자전을 하면서 태양 주위를 공전한다고 생각
- ▶ 주변 친구들의 권유로 죽기 직전 1543년 《천구의 회전에 관하여》 출판

NICOLAI
COPERNICI TO-
RINENSIS DE REVOLVTIONI-
bus orbium coelestium,
Libri VI.

IN QVIBVS STELLARVM ET FI-
XARVM ET ERRATICARVM MOTVS, EX VET-
ribus atq; recentibus obseruationibus, restituit hic autor,
(Præterea tabulas expeditas luculentasq; addidit, ex quib-
us eisdem motus ad quoduis tempus Mathe-
maticum studiosus facillime calcu-
lare poterit.)

ITEM DE LIBRIS REVOLVTIONVM NICOLAI
Copernici Narratio prima per M. Georgium Ioachi-
mum Rheticum ad D. Ioan. Schone-
rum scripta.

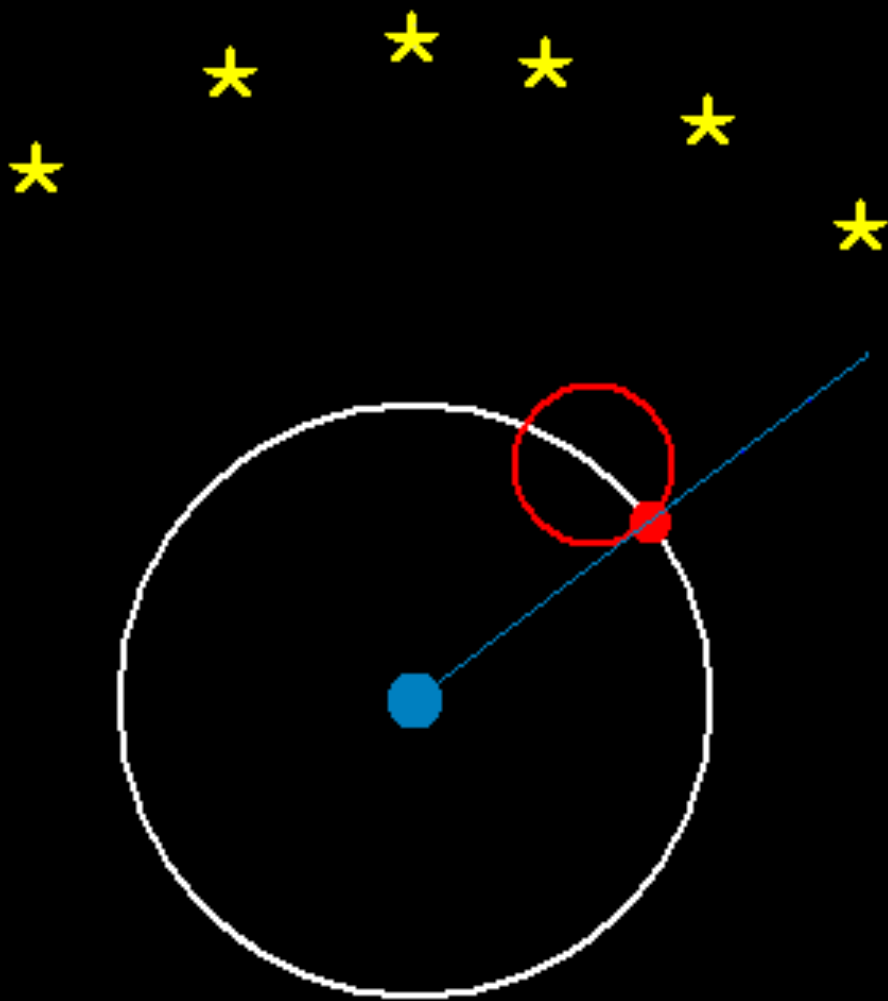


Cum Gratia & Præfatio Cæs. Maiest.
BASILEAE, EX OFFICINA
HENRICI PETRI.

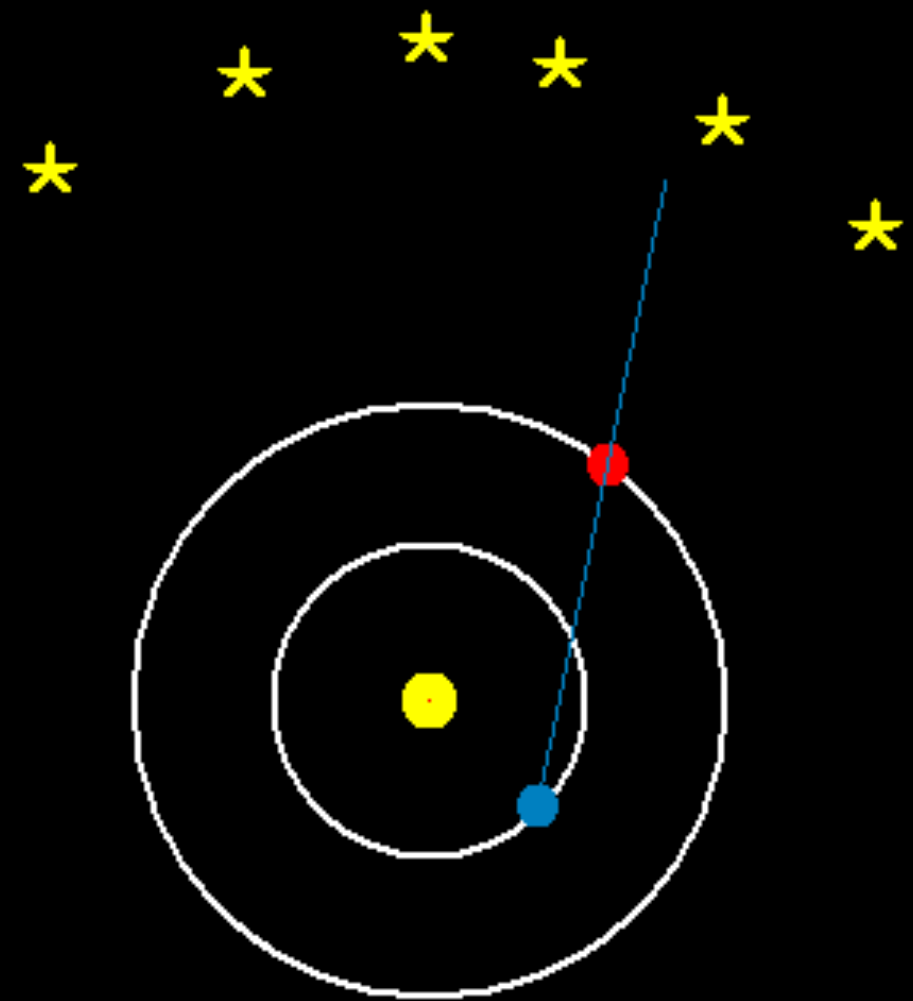
《천구의 회전에 관하여》(1543)

- ▶ 지구의 운동을 제외하면 전문적인 수리 행성 천문학 서적
- ▶ “프톨레마이오스의 체계는 괴물”
 - ▶ 이질적 원리 조합 : 우주의 조화와 대칭성 훼손. 특히 ‘대심(equant)’의 사용에 대해 불만
 - ▶ 태양을 중심에 두면 조화롭고 간단한 체계 가능하다고 주장
 - ▶ 코페르니쿠스는 프톨레마이오스보다 더욱 엄격하게 등속 원운동의 조합만으로 모든 행성의 운동을 설명하고자 노력함

행성의 역행 운동 : 기본 주전원의 제거



프톨레마이오스 체계

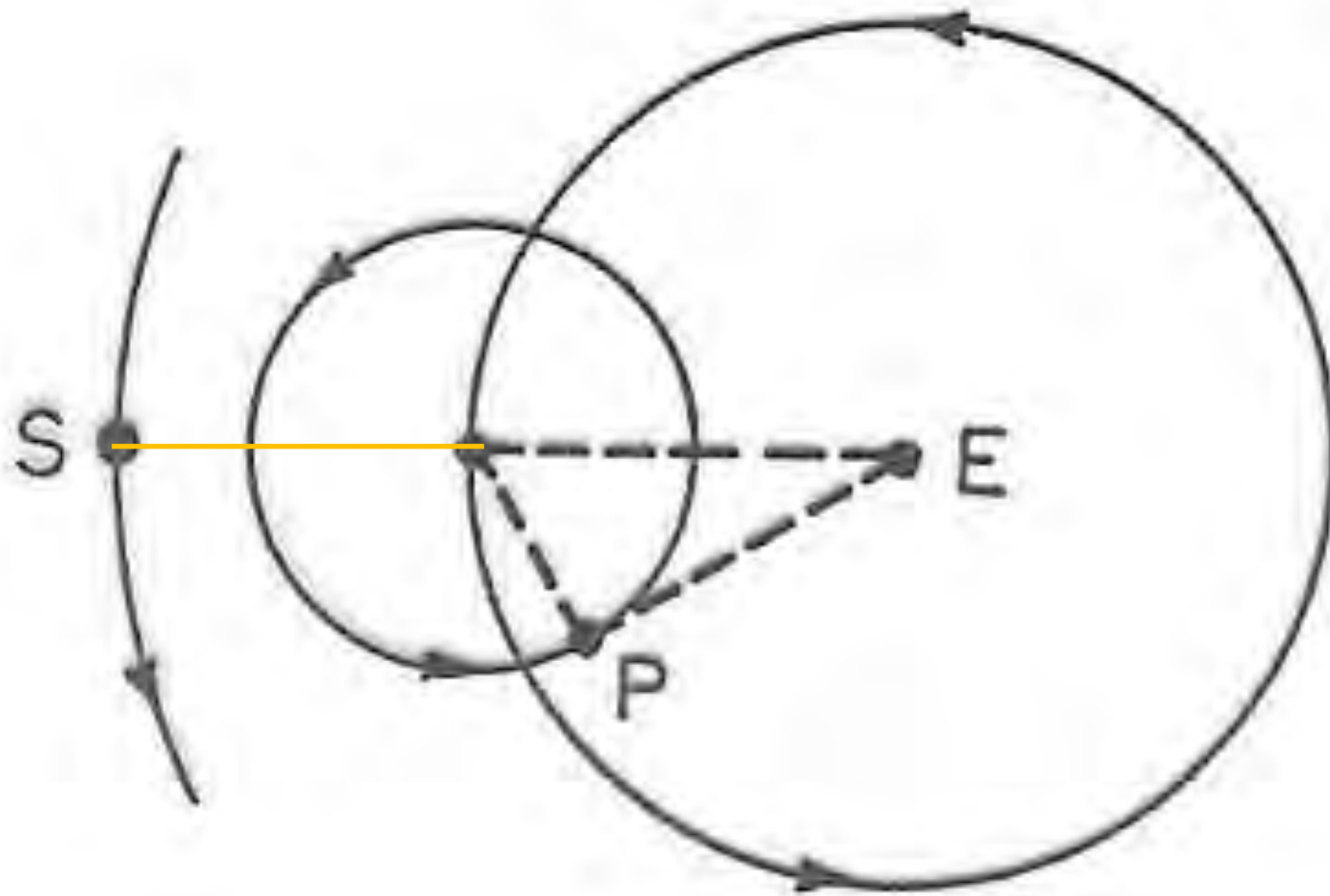


코페르니쿠스 체계

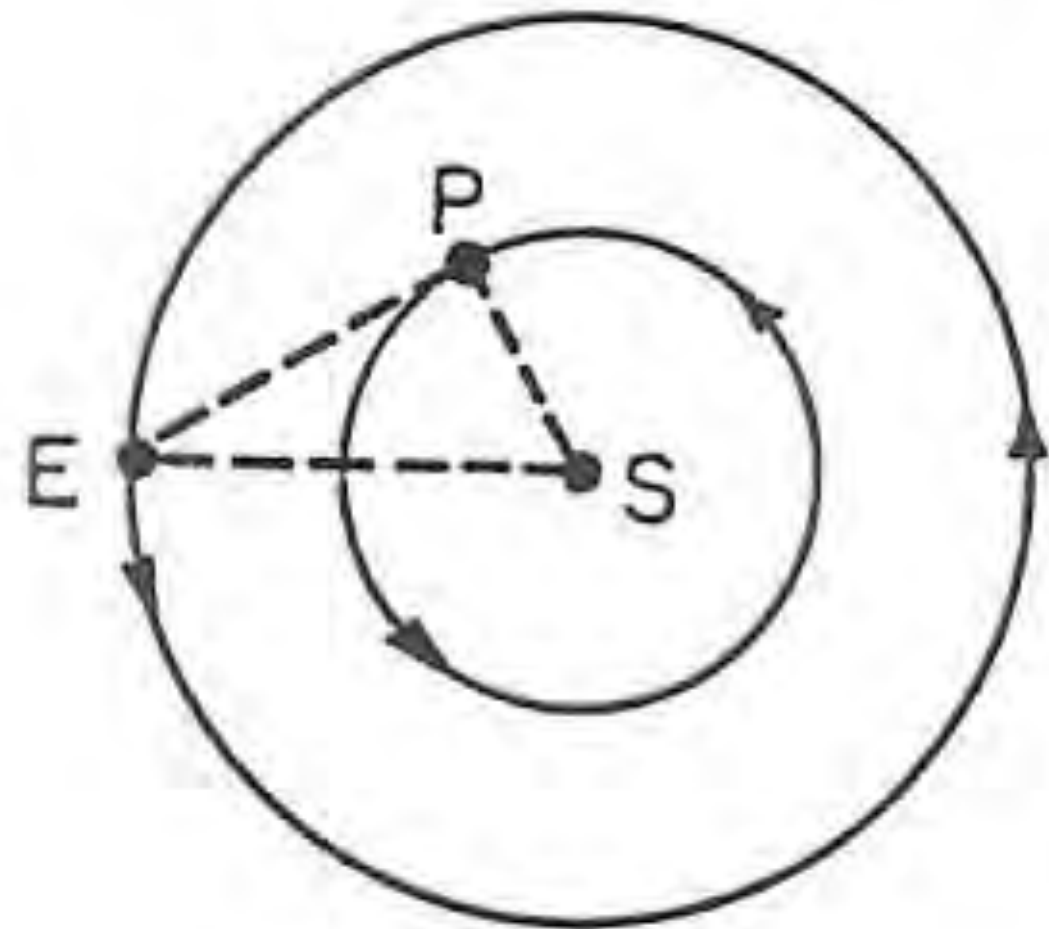
외행성이 역행할 때마다
태양 반대편에 있는 이유도 설명

내행성과 태양 사이의 최대이각 : 별도의 가정 제거

프톨레마이오스

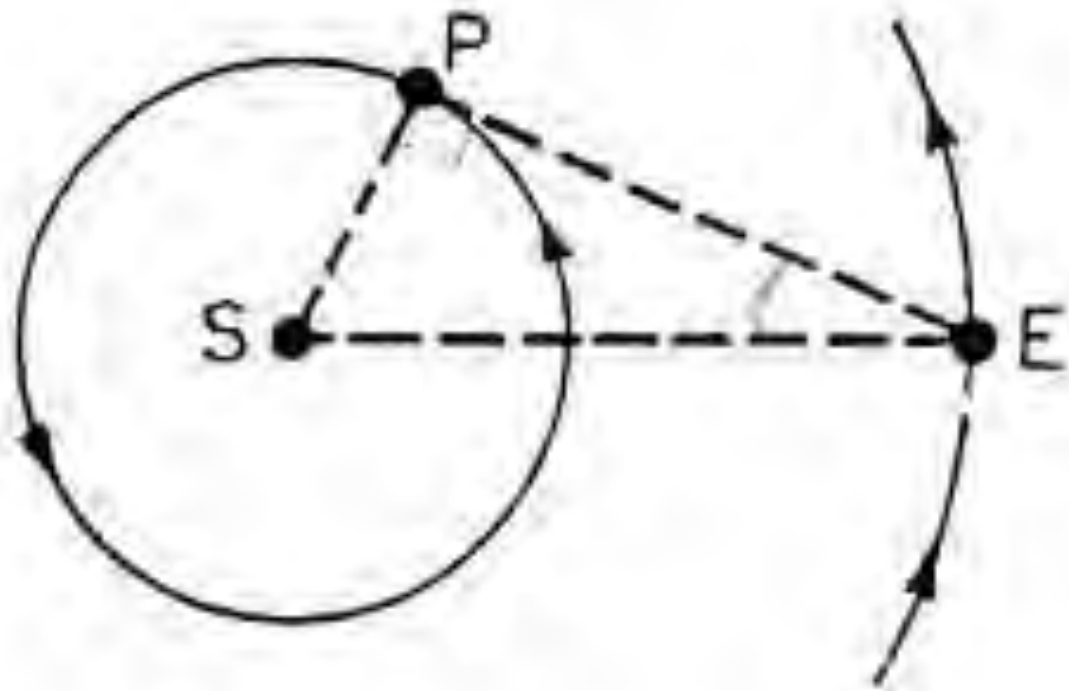


코페르니쿠스

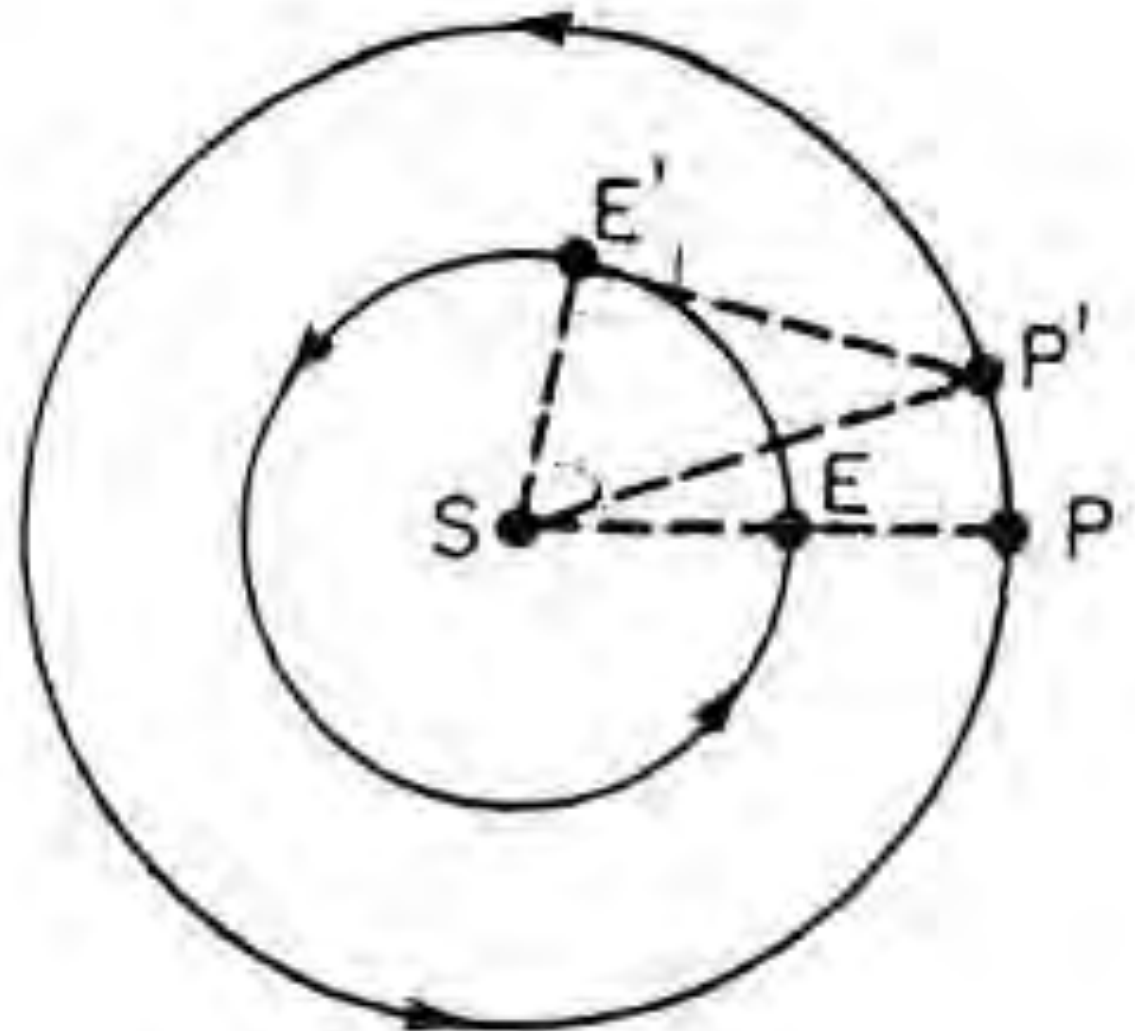


행성 궤도의 크기와 순서의 확정

.....



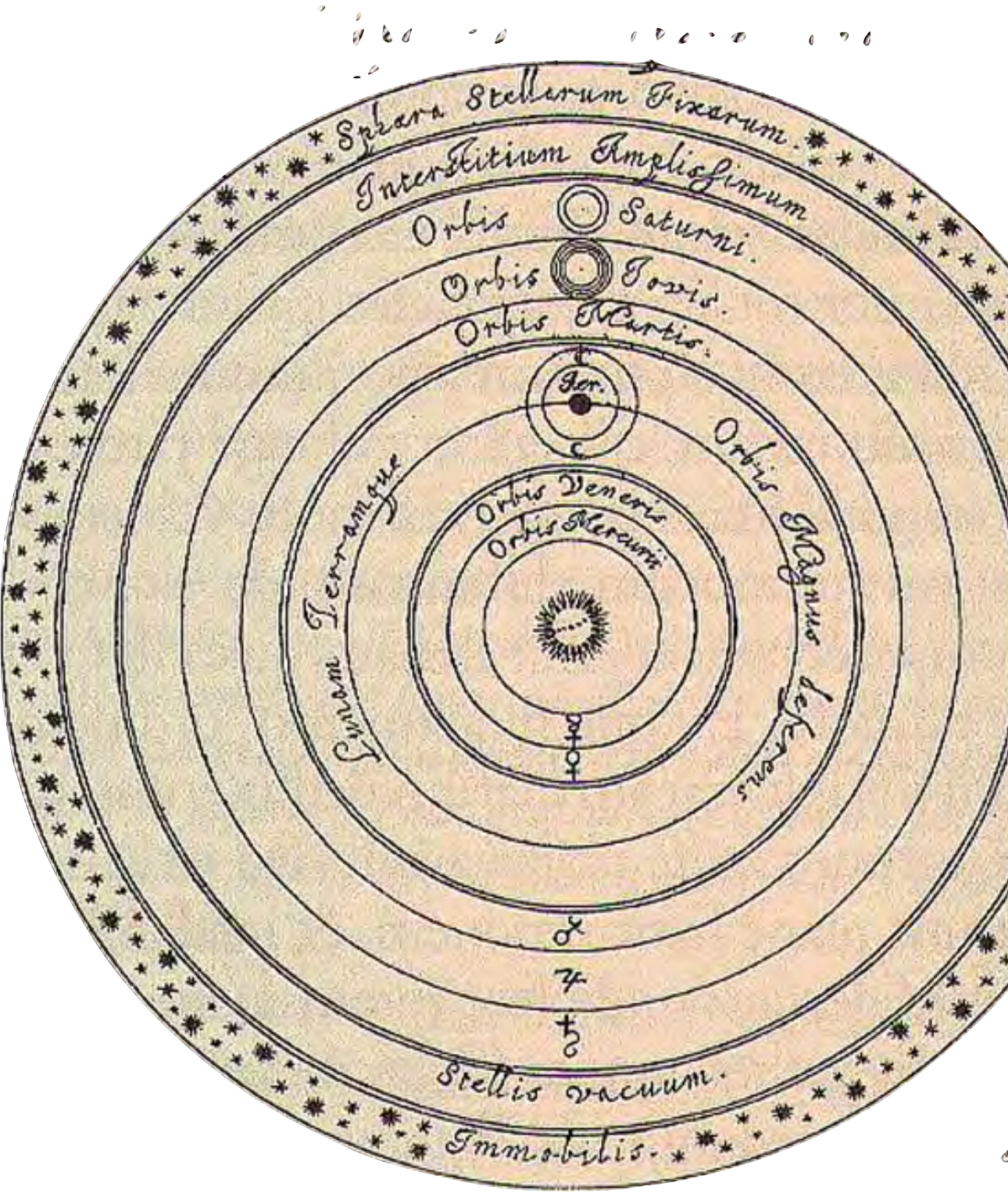
내행성의 경우

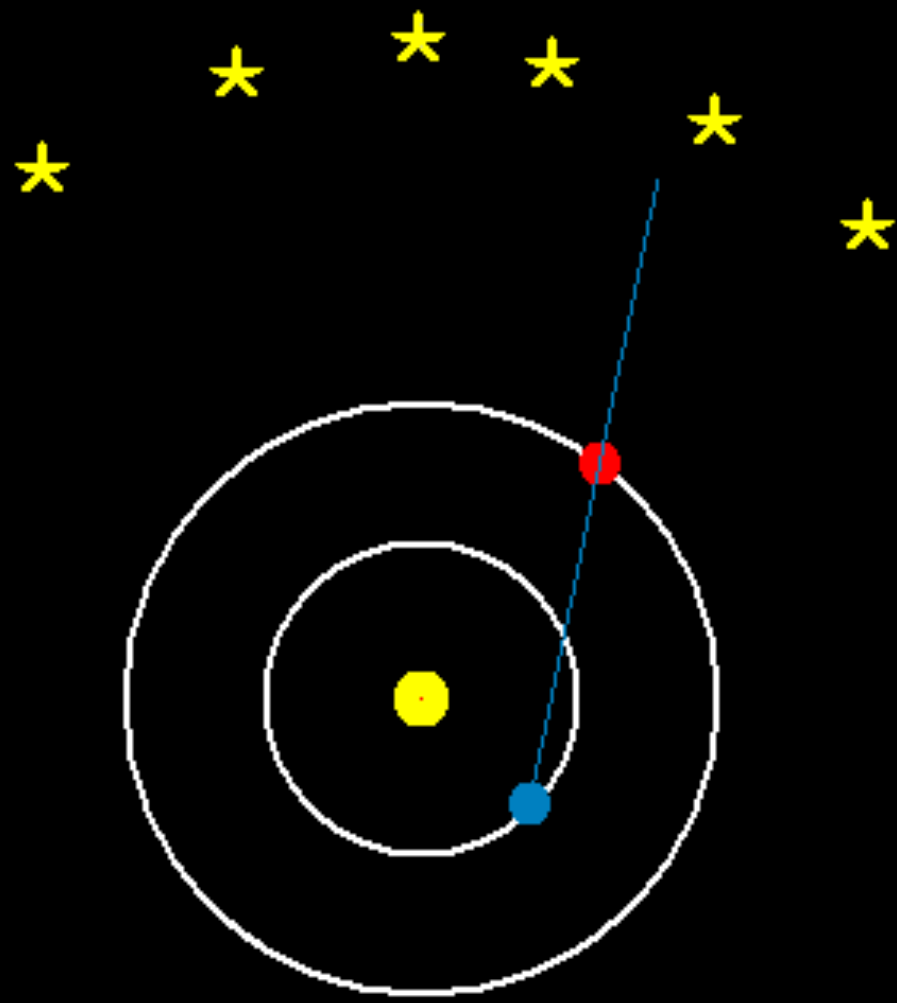


외행성의 경우

행성의 공전 주기와 궤도 크기의 조화

	공전 주기	궤도 반경
수성	88일	0.4
금성	225일	0.72
지구	1년	1
화성	687일	1.5
목성	12년	5.2
토성	30년	9.5





코페르니쿠스 체계의 장점

이미 알고 있었던 것들에 대한
보다 조화롭고 단순한 설명들

- (1) 행성의 역행 운동
- (2) 역행 운동과 태양의 관계
- (3) 내행성의 최대 이각
- (4) 행성 궤도의 순서와 크기

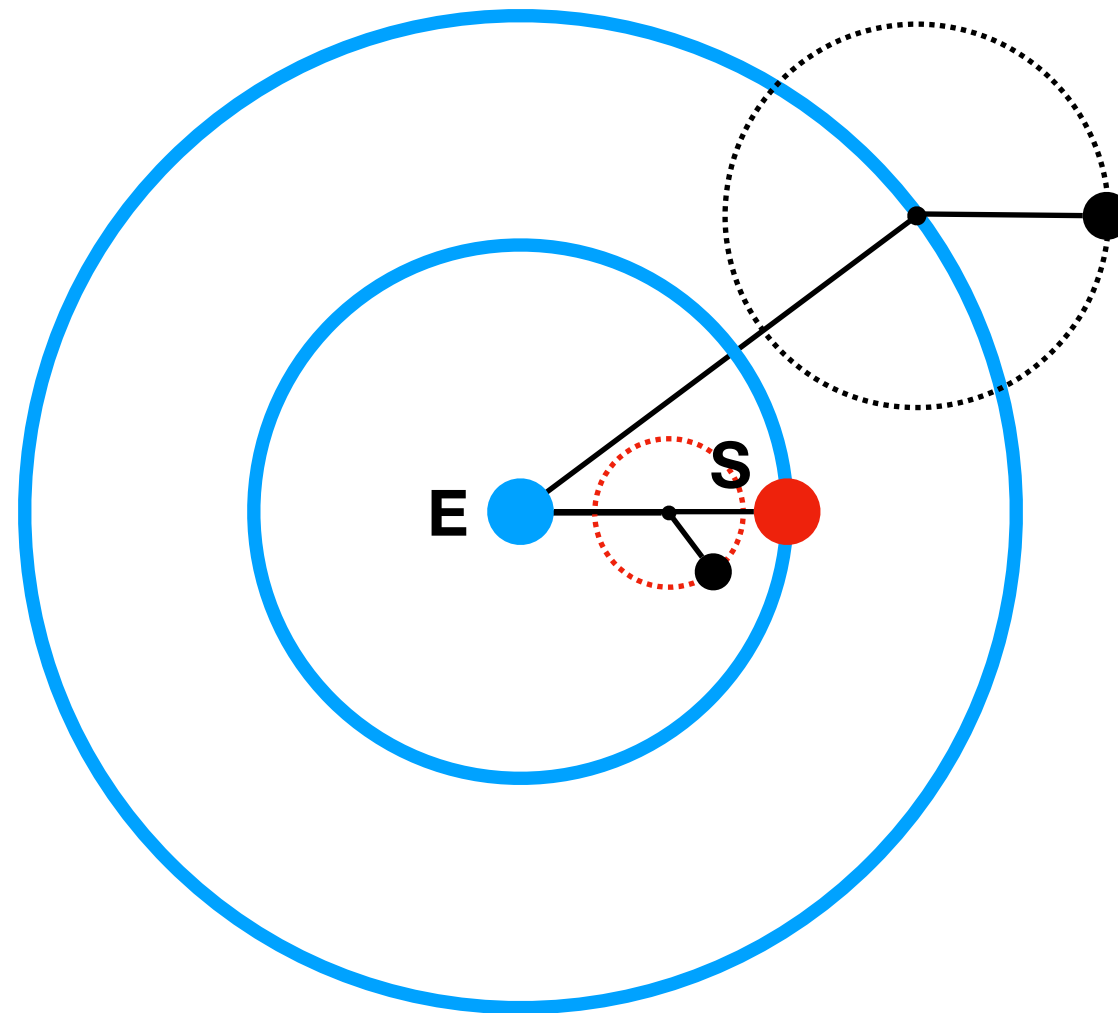
“이 모든 현상은 동일한 원인에 의해 일어나는 것들로,
그 원인은 바로 지구의 운동이다.” - 코페르니쿠스

“

태양 중심 천문학의 진짜 호소력은 실용적인 면이 아닌 미적인 면에 있었[다] ... 천문학자들에게 코페르니쿠스 체계와 프톨레마이오스 체계 사이의 선택은 처음에는 단지 취향의 문제일 수 있었[다].

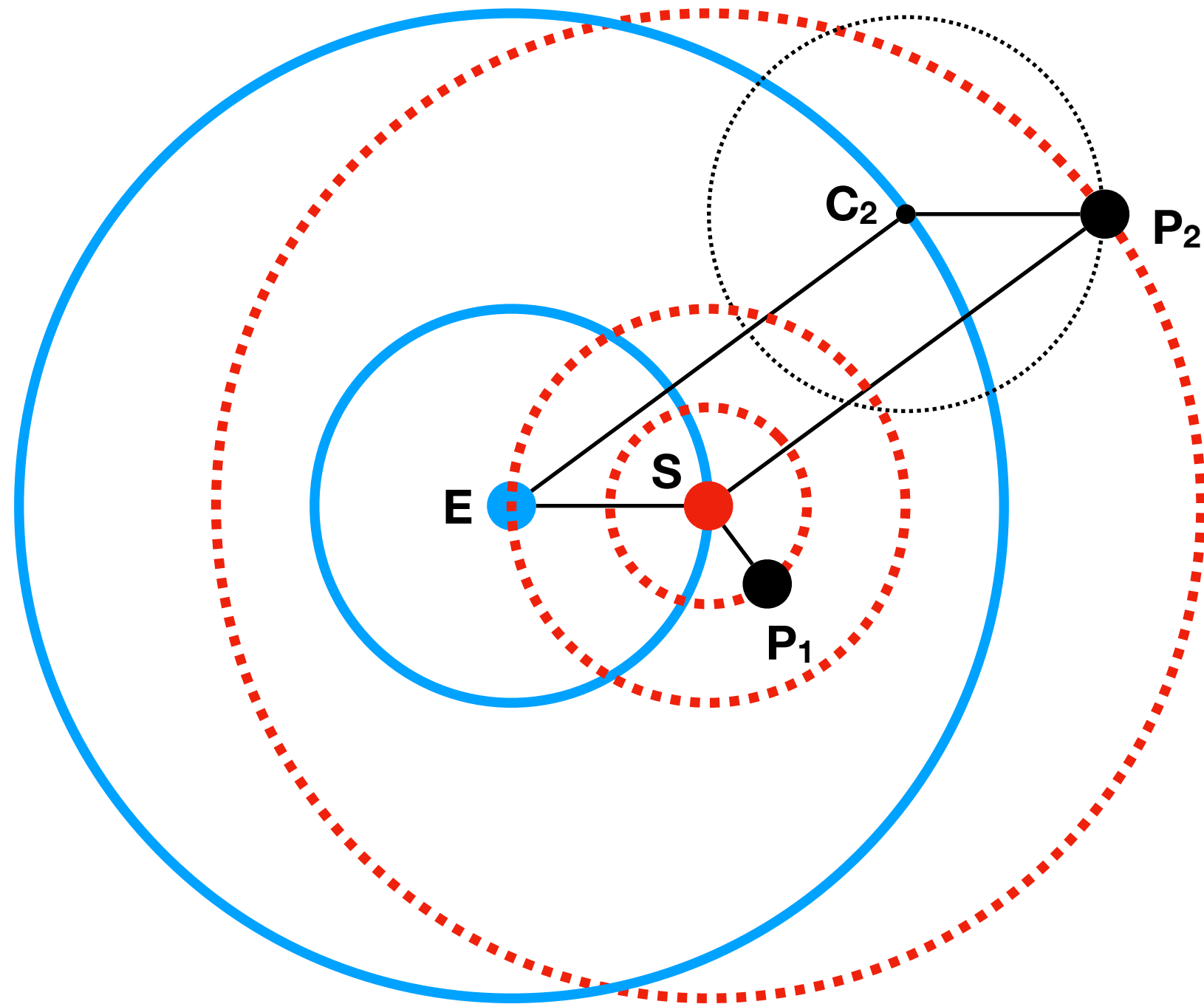
토머스 쿤, 《코페르니쿠스 혁명》 중에서

코페르니쿠스 체계 = 프톨레마이오스 체계



프톨레마이오스 체계

코페르니쿠스 체계 = 프톨레마이오스 체계



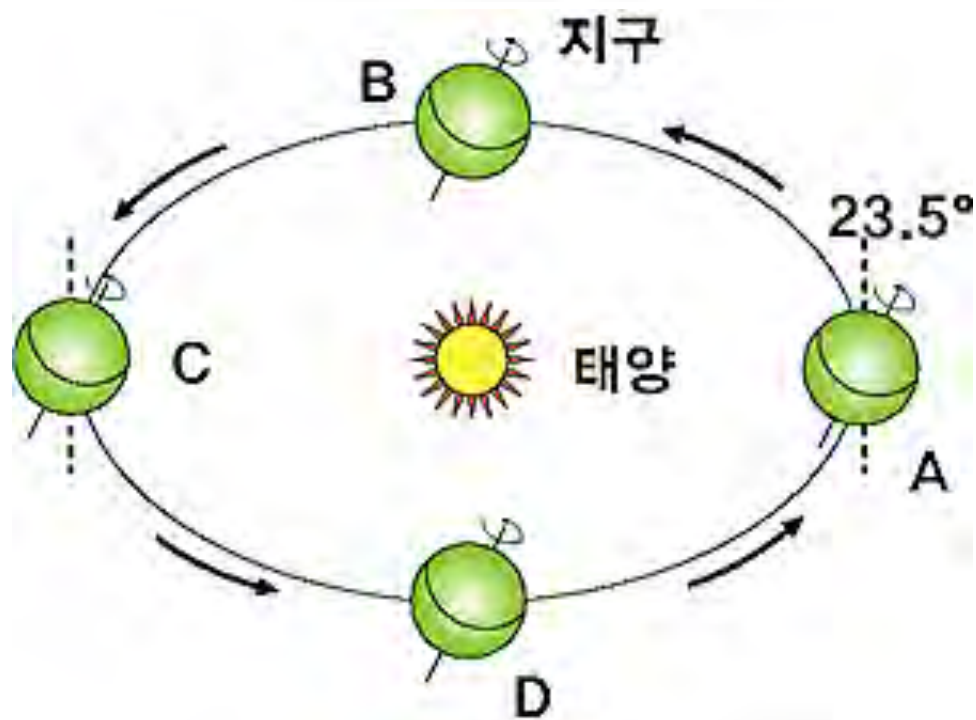
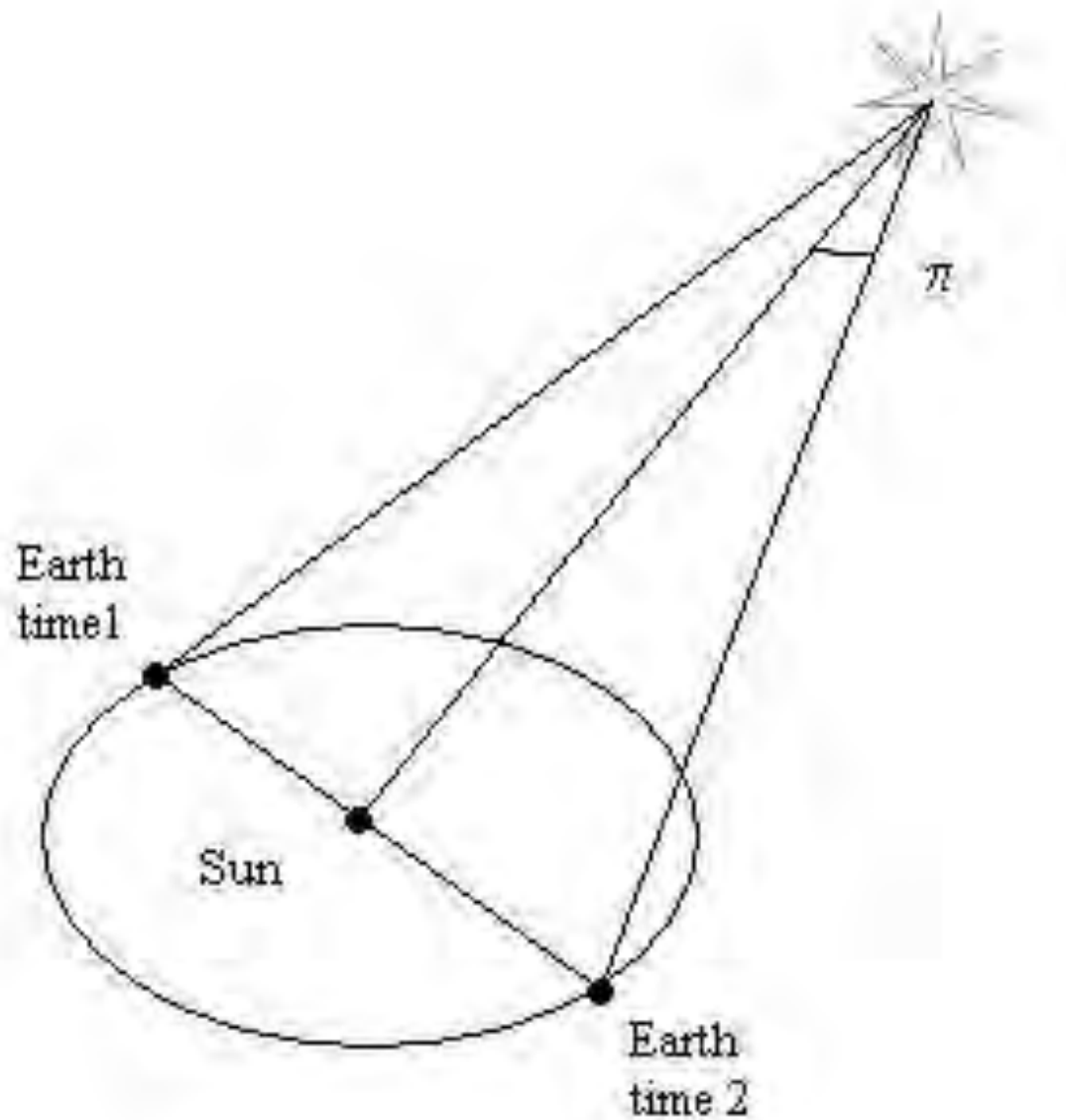


코페르니쿠스 체계의 복잡성과 부정확성

- ▶ 태양 중심의 단순한 원형 궤도는 행성 운동에 대한 단순한 정성적 설명은 제공하지만 상세한 정량적 설명은 제공하지 못함.
- ▶ 코페르니쿠스에게 행성의 운동은 등속 원운동이므로, 관측과의 일치를 위해 그는 다수의 미세 주전원과 이심원을 사용하여 매우 복잡한 체계를 만들어냈다.
- ▶ 사실 원운동의 합성이라는 그의 방법은 프톨레마이오스 체계보다 월등히 정확한 체계를 만들 수 없었음.

연주시차의 관측 실패

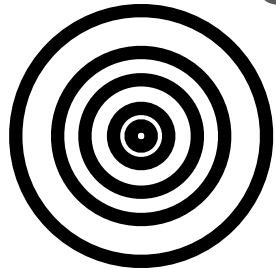
- ▶ 지구가 태양을 중심으로 공전한다면, 계절에 따라 별의 위치가 바뀌어야 한다는 예측이 따라나옴. 일례로, 여름과 겨울의 북극성이 달라져야!
- ▶ 그러나 그러한 시차는 관측되지 않음!
- ▶ 태양중심설에 대한 반증?
- ▶ 아니면 광활한 우주?



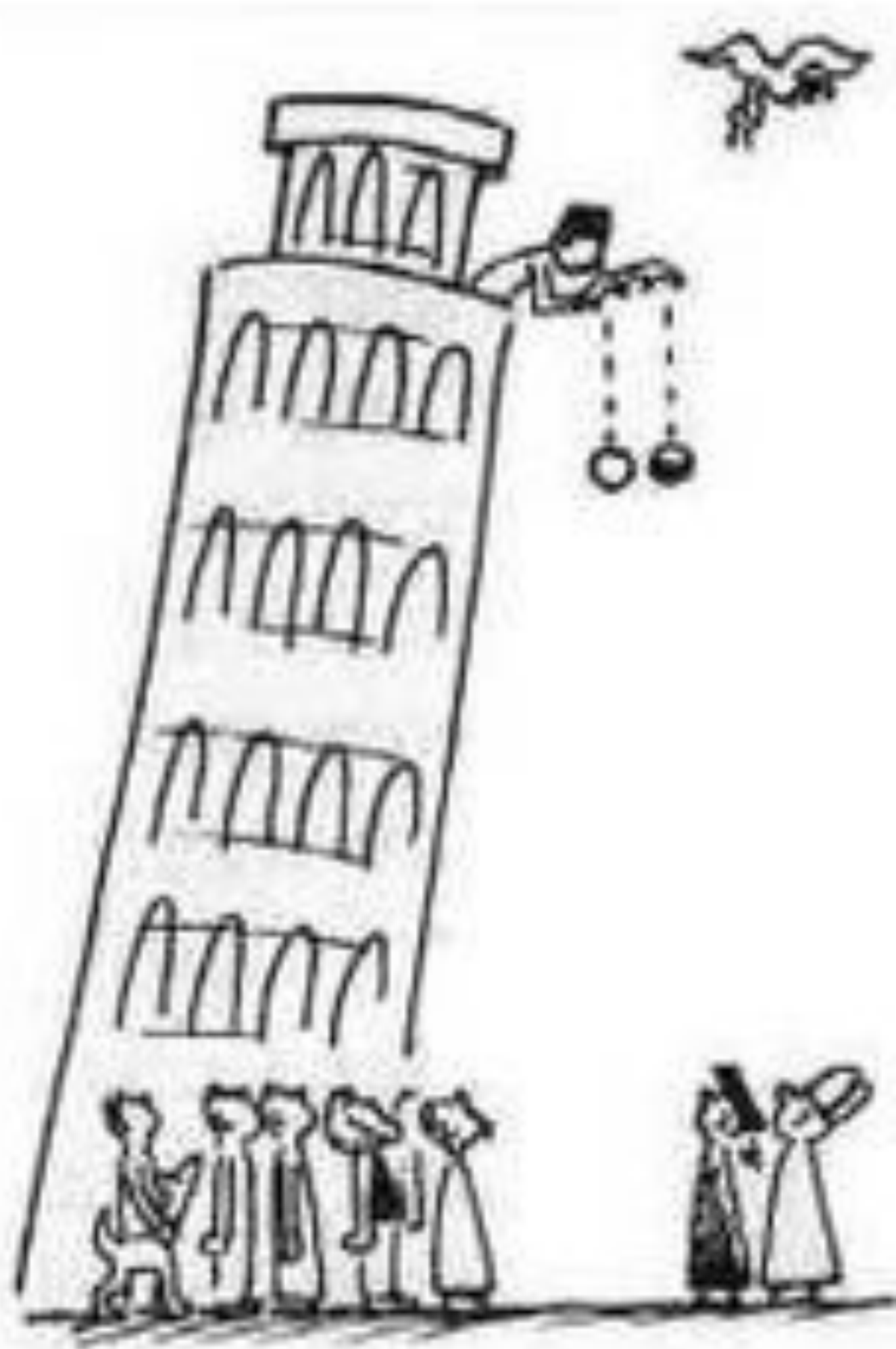
코페르니쿠스의 광활한 우주

항성천구

토성천구



지구가 태양을 중심으로 공전을 하는데도
맨눈으로 연주시차가 관측되지 않으려면
별들은 토성으로부터 엄청나게 떨어져 있
어야 했다.



더 심각한 문제들

.....




- ▶ 지구의 회전에 따른 물리적 문제
 - ▶ 우리는 왜 어지럽지 않은가?
 - ▶ 우리는 왜 날아가지 않은가?
 - ▶ 떨어지는 물체는 왜 뒤쳐지지 않고 똑바로 떨어지는가?
 - ▶ 어떻게 새들은 여러 방향으로 날 수 있는가?
- ▶ 지상계/천상계의 구분 파괴에 따른 문제들
 - ▶ 무거운 물체는 왜 우주의 중심이 아닌 지구로 떨어지는가?
 - ▶ 천국과 지옥은 어디에 있는가?

코페르니쿠스 혁명의 난점

상대적 장점	중립	상대적 단점
행성 운동에 대한 보다 조화롭고 단순한 ‘정성적’ 설명	행성 위치에 대한 ‘정량적’ 예측	연주시차 측정의 실패 지구의 회전에 따른 물리적 문제 천상계/지상계 구분 파괴에 따른 문제들

코페르니쿠스 혁명은 드러난 여러 문제들을 해결하는 과정에서 완성. 그러나 그 문제들이 해결되기 전까지 그 문제들은 혁명에 저항하는 주된 원인으로 작용. 따라서 혁명이 완수되기 위해서는 코페르니쿠스 체계를 일찍 수용하고서 그것을 발전시킬 학자들이 필요. 그러나 그러한 학자들은 어떻게 나타날 수 있는가?

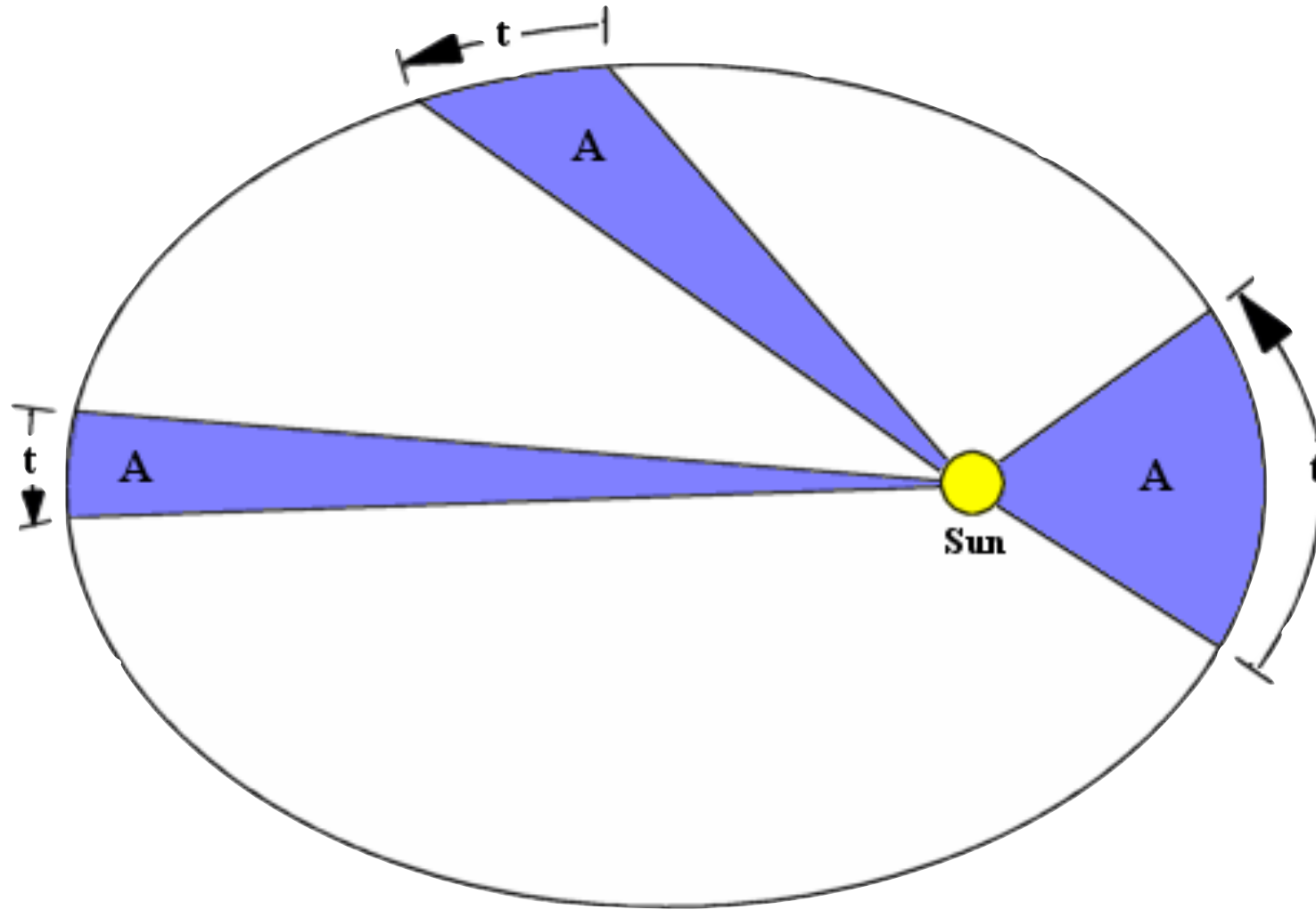
공유된 가치들에 의한 이론 선택 : 코페르니쿠스 혁명 초기

		프톨레마이오스 체계	코페르니쿠스 체계
	단순성	80	90
	정확성	80	80
	정합성	80	40
	평균 1 (평범한 가치관)	80	70
케플러  갈릴레오 	평균 2 (0.8:0.1:0.1)	80	84

코페르니쿠스를 비롯해 '하늘'의 '수학적 조화'에 집착한 소수의 천문학자들(케플러와 갈릴레오)이 있었음

케플러의 법칙(1609)

.....

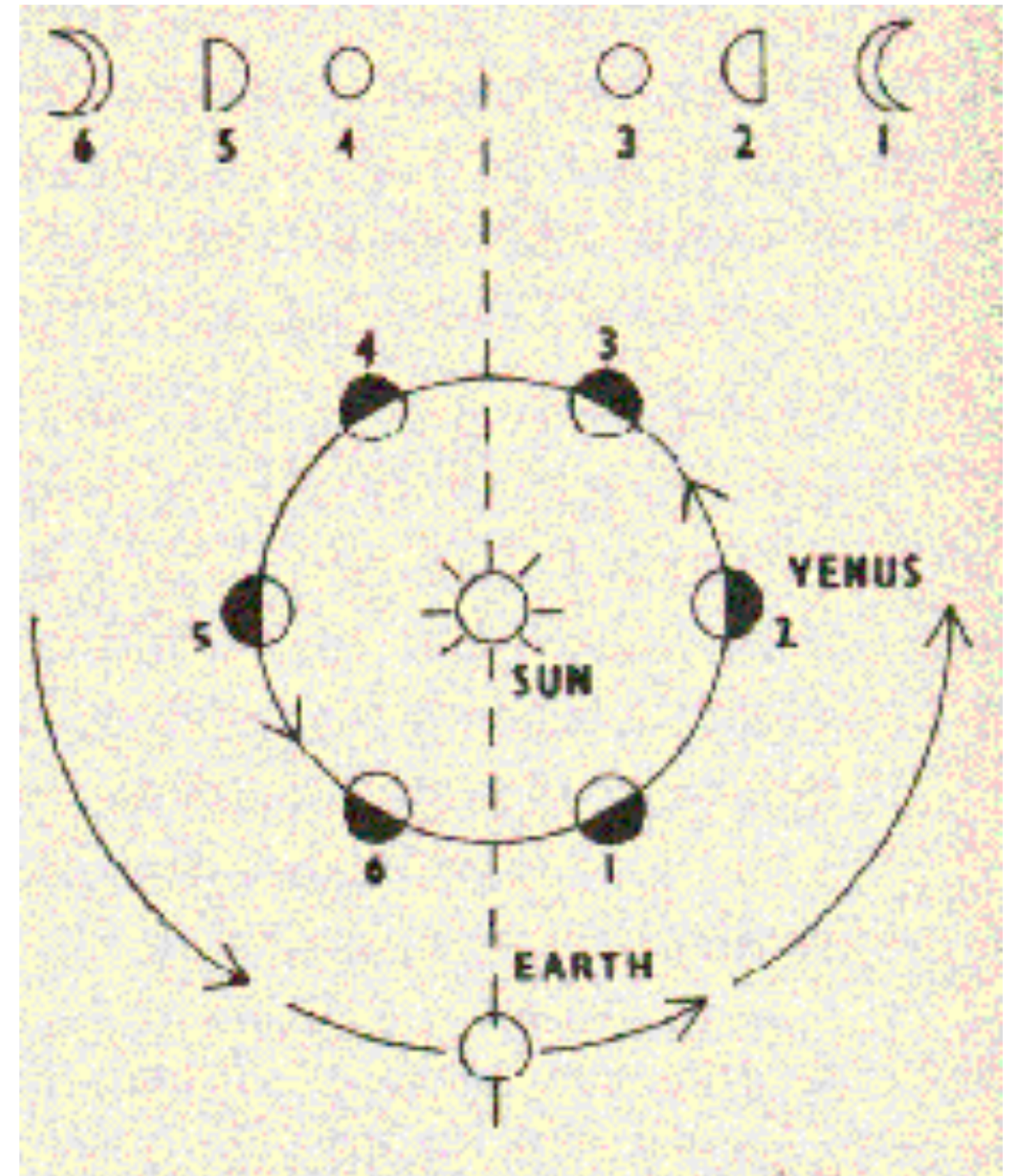
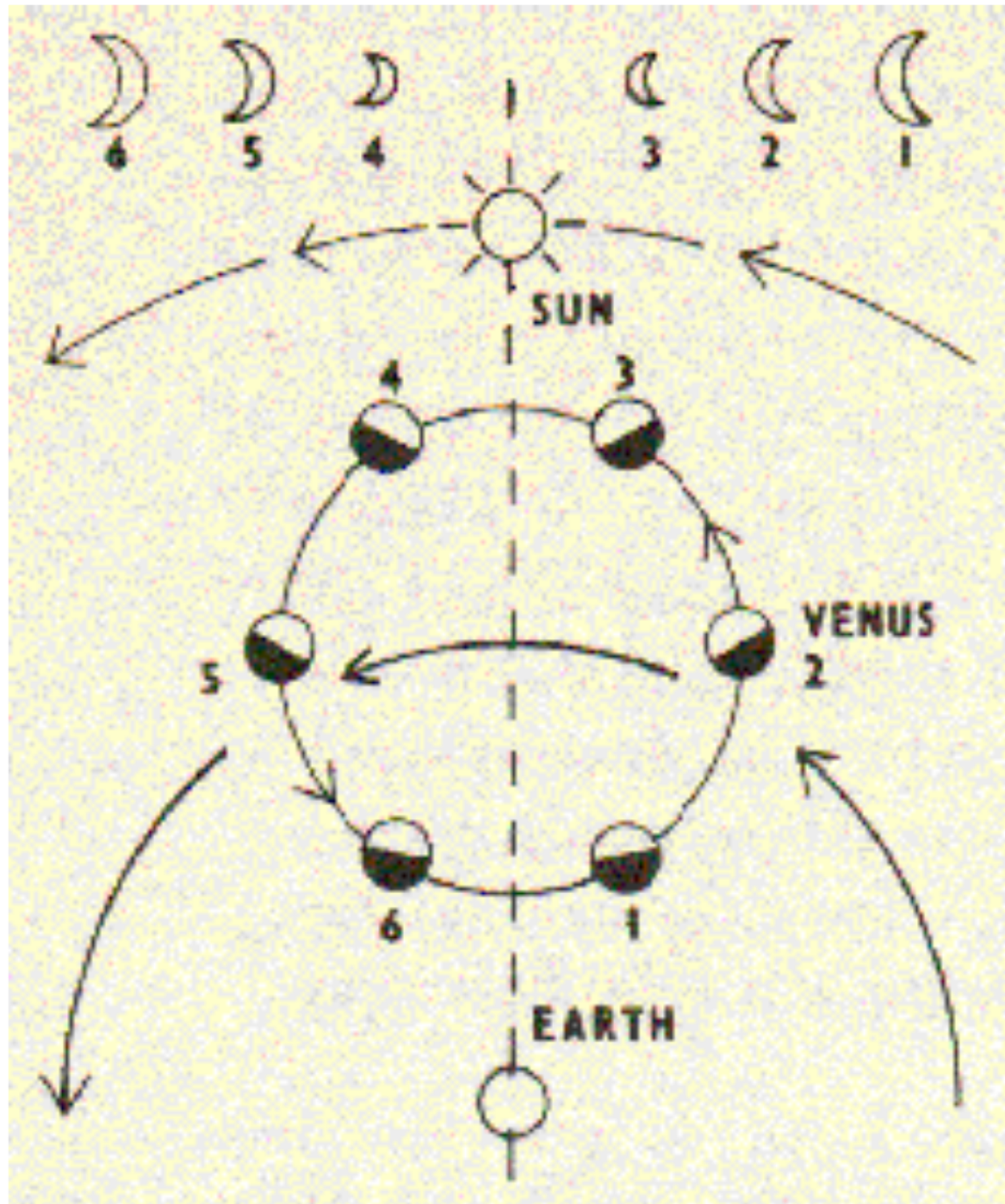


1. (타원 궤도 법칙) 행성은 태양을 한 **초점**으로 하는 타원 궤도를 그리면서 공전한다.
2. (면적 속도 법칙) 행성과 태양을 연결하는 가상적인 선분이 같은 시간 동안 쓸고 지나가는 면적은 항상 같다.

자료와 2' 이내의 오차!

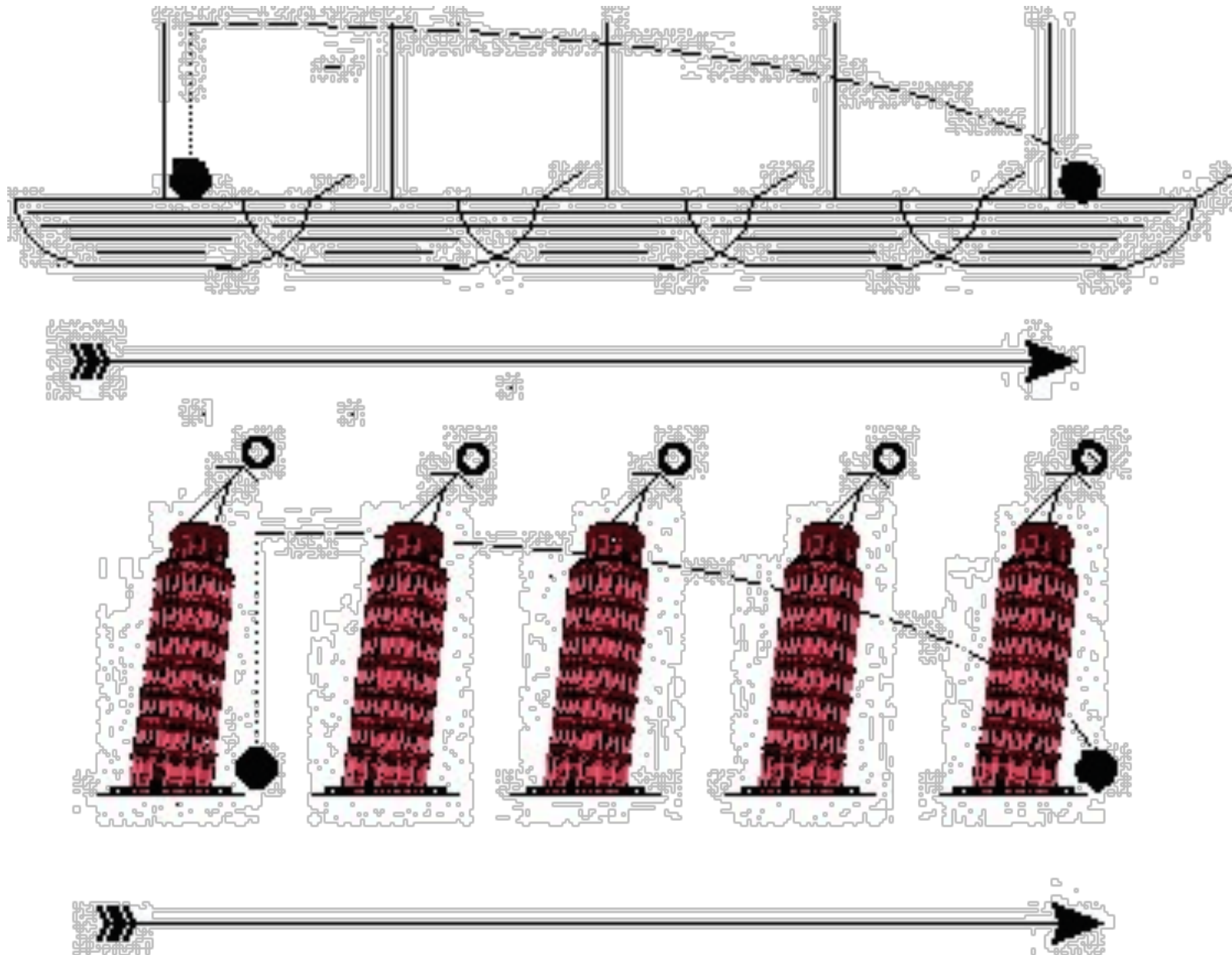
갈릴레오의 금성의 위상 변화 관측(1610)

.....




관성 개념을 이용한 갈릴레오의 지구의 운동 변호(1632)

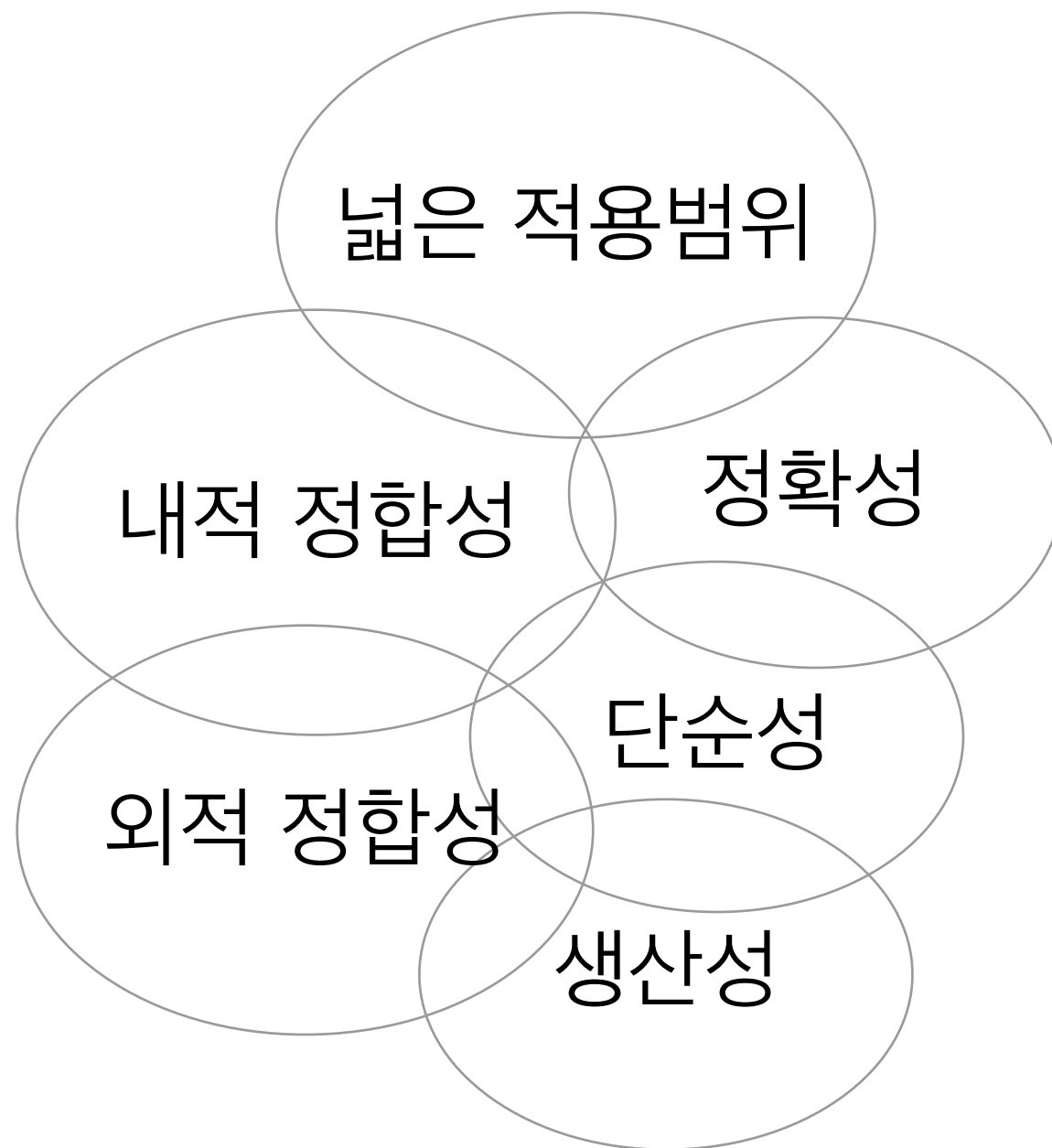
.....



공유된 가치들에 의한 이론 선택 : 케플러와 갈릴레오 이후

		프톨레마이오스 체계	코페르니쿠스 체계
	단순성	80	96
	정확성	80	99
	정합성	80	75
	평균 1 (평범한 가치관)	80	90
성서에 대한 문자적 해석 	평균 2 (0.1:0.1:0.8)	80	79.5

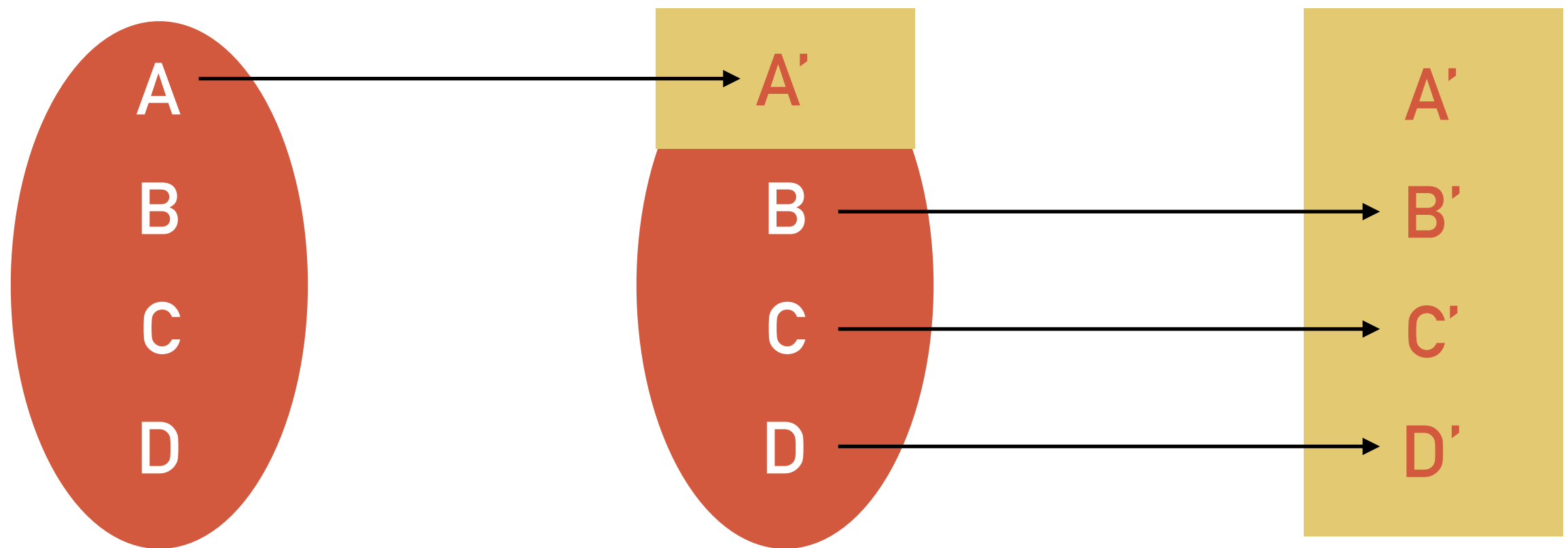
공유된 가치들에 의한 이론 선택



- ▶ 결국 패러다임의 전환은 공동체 구성원 다수의 선택에 의해 결정
- ▶ 단순히 취향에 의한 다수결? No!
 - ▶ 애매하긴 하지만 공동체 구성원들에게 **공유된 가치들**이 있기 때문에 설득을 위한 국소적 논증들 가능
 - ▶ 소수파도 언젠가 승리 가능 (승리를 위해 꼭 상대의 가치관을 변화시켜야 하는 것은 아님)
- ▶ 가치관의 개인차의 필요성
 - ▶ 모두가 동일한 판단을 할 때 발생할 수 있는 위험을 분산시킴으로써, 과학 공동체의 장기적 성공 보장
- ▶ 쿤에게 과학의 합리성은 개인의 합리성이라기보다 공동체의 합리성

혁명의 전체론적 성격과 과도기의 문제

- ▶ 천문학이 바뀌려면 우주론도 물리학도 종교도 바뀌어야! (쿤)
- ▶ 혁명이 완결되려면 이질적인 믿음이 공존하는 과도기 필요 (파이어아벤트)



천동설은 반증되었는가?

